Das

Neunzehnte Jahrhundert

in

Deutschlands Entwicklung

Unter Mitwirkung von

Siegmund Günther, Cornelius Gurlitt, Fritz Hoenig, Georg Kaufmann,
Richard M. Meyer, Franz Carl Müller, Franz Reuleaux,
Werner Sombart, Heinrich Welti, Theobald Ziegler

Herausgegeben von

Paul Schlenther

Band V

Siegmund Günther

Geschichte der anorganischen Naturwissenschaften

Berlin
Georg Bondi
1901

Geschichte

der

anorganischen Naturwissenschaften

im

Neunzehnten Jahrhundert

von

Siegmund Günther

Erstes, zweites und drittes Tausend



Berlin
Georg Bondi
1901


WELLCOME
HISTORICAL
MEDICAL
LIBRARY

Vorwort.

Eine kurze Vorrede kann bei einem Buche, wie dem vorliegenden, nicht wohl unterbleiben. Denn es ist die Pflicht des Verfassers, seinen Lesern von vornherein einen Überblick über Das zu geben, was sie zu erwarten haben, und im gegenwärtigen Falle erscheint diese Pflicht als eine um so dringendere, weil der Bezeichnung „Anorganische Naturwissenschaft“ unleugbar eine gewisse Unbestimmtheit anhaftet. Daß es in unseren Tagen nicht mehr möglich ist, das ungeheure Gebiet der gesamten Naturwissenschaften soweit zu beherrschen, um deren geschichtliche Entwicklung bis zu unseren Tagen darstellen zu können, versteht sich wohl von selbst; eine Spaltung mußte eintreten, und die beiden Bearbeiter kamen leicht überein, diejenige Scheidung vorzunehmen, welche unmittelbar in der Natur der Sache gelegen ist. Darüber, was man als organische und anorganische Körper anzusehen habe, waltet keine Meinungsverschiedenheit ob, und so fällt also den „Organischen Naturwissenschaften“ jener Komplex von Disziplinen zu, welche man mit gleichem Rechte auch die „biologischen“ nennen könnte. Dahin gehören Botanik und Pflanzenphysiologie, Zoologie und (somatische) Anthropologie und endlich die gesamte Heilkunde; darüber, daß die Medizin nichts als angewandte Naturwissenschaft ist und sein kann, herrscht ebenfalls Einstimmigkeit. Für die andere Hälfte, mit welcher wir es hier zu thun haben, verbleiben folglich Astronomie, Physik, Chemie, die mineralogisch-geologischen Fächer und endlich die im neunzehnten Jahrhundert als gleichberechtigt in die Phalanx der Naturwissenschaften eingetretene Erdkunde, welcher allerdings zugleich die Pflicht obliegt, die Verbindung der Wissenschaft von den natürlichen

Dingen mit jener anderen umfassenden Seite menschlicher Erkenntnis aufrecht zu erhalten, welche durch H. v. Helmholtz den treffenden Namen der „Geisteswissenschaften" erhalten hat.

Irgend welche Irrungen über die Zuteilung eines einzelnen Faches zu einer der beiden großen Abteilungen sind ausgeschlossen. Nur wer den Dingen ferne steht, könnte sich vielleicht durch das Wort „Organische Chemie" täuschen lassen; bei näherem Zusehen ergiebt sich nämlich sofort, daß diese etwas willkürliche Namengebung, welche besser durch „Chemie der Kohlenstoffverbindungen" ersetzt würde, nicht darauf abzielt, einen integrierenden Bestandteil der Wissenschaft grundsätzlich abzugliedern und eine vollständige Trennung vorzubereiten, zu der sachlich ganz und gar kein Anlaß gegeben wäre. Grenzgebiete sind natürlich vorhanden. Wir rechnen zu ihnen, um nur einige Beispiele anzuführen, die der Meteorologie unentbehrliche Pflanzenphänologie, die von der Geologie ausgegangene und erst in unseren Tagen umso selbständiger gewordene Paläontologie, die gleichmäßig nach beiden Seiten gravitierende medizinische Physik, und auch noch einige andere Arbeitsfelder sind von Hause aus so beschaffen, daß sich auf ihnen bald der Vertreter einer anorganischen Disziplin, bald der Biologe zu schaffen machen muß. Allein im Verhältnis zum Großen und Ganzen treten diese Grenzgebiete, insoweit sie strittig erscheinen mögen, sehr zurück, und für den Leser kann es sogar nur angenehm sein, den nämlichen Gegenstand unter zwei ganz verschiedenen Gesichtspunkten erörtert zu sehen. Die Gefahr dagegen, daß das eine der beiden naturwissenschaftlichen Geschichtswerke dem anderen eine empfindliche Konkurrenz machen könnte, besteht in keiner Weise, ganz abgesehen davon, daß auch die Abmachungen der beiden Autoren ein allzu intensives Übergreifen verhindern.

Als ein Wagnis muß es unter allen Umständen gelten, wenn man die Fortschritte eines Wissenszweiges bis zur Gegenwart herab verfolgen will. Andererseits würde eine gerade um die Zeit der Säkularwende geschriebene Geschichte des abgelaufenen Jahrhunderts recht unvollständig erscheinen, wollte sie so manche großartige und vielversprechende Leistung der jüngsten Vergangenheit unterdrücken,

und wo sollte wohl die Grenze zwischen eigentlicher Geschichte und Zeitgeschichte gezogen werden? So muß eben das Bedenken, daß man über die Errungenschaften der allerneuesten Zeit noch nicht zu einem völlig abgeklärten Urteile gelangt sein kann, mit in den Kauf genommen werden. Ermutigt haben den Verfasser vier Werke, denen er auch sonst viel verdankt hat, und die es mit Glück unternommen haben, die Schilderung des Werdeganges naturwissenschaftlicher Disziplinen bis zu dem Jahre ihrer Veröffentlichung fortzuführen, nämlich R. Wolfs „Geschichte der Astronomie" (1877), F. Rosenbergers „Geschichte der Physik" (1890), E. v. Meyers „Geschichte der Chemie" (1895) und K. A. v. Zittels „Geschichte der Geologie und Paläontologie" (1899). Diesen Vorbildern nachzueifern, war von Anfang an der Zweck des Verfassers.

Dieser kann zum Schlusse nicht umhin, einen doppelten Dank auszusprechen. Der erste gebührt der Verlagsbuchhandlung, welche allen ihr vorgetragenen Wünschen in liebenswürdigster Weise entgegengekommen ist. Weiterhin aber ist der Verfasser, wie schon bei früheren Gelegenheiten, zu aufrichtigem Danke Herrn Reallehrer J. Bodky in Nürnberg gegenüber verpflichtet, der ihm bei der Durchsicht der Druckbogen mit gewohntem sachkundigen Takte seine Unterstützung geliehen hat.

München, im Februar 1901.

S. Günther.

Inhalt.

Abbildungen.



Hermann v. Helmholtz

Franz Lenbach pinx. Franz Hanfstaengl ed.

Erstes Kapitel.

Der Standpunkt der Naturwissenschaften um die Wende des 18. Jahrhunderts.

Wer es versucht hätte, um das Jahr 1800 ein Momentanbild naturwissenschaftlichen Wissens zu zeichnen, dem hätte sich eine lohnende Aufgabe dargeboten. Ein ungeheures Thatsachenmaterial hatte sich im Laufe des Jahrhunderts, vorab in dessen zweiter Hälfte, aufgehäuft, und eine Fülle höherer Gesichtspunkte war gewonnen worden, um Ordnung in das Chaos von Erfahrungswahrheiten zu bringen, welches in Büchern, in Zeitschriften und in den Veröffentlichungen zahlloser gelehrter Gesellschaften vorlag. Freilich, Entdeckungen von so fundamentaler Bedeutung, wie sie sich an die Namen Coppernicus und Kepler, Galilei und Newton knüpfen, waren in dem abgelaufenen Säkulum nicht mehr gemacht worden; nicht jeder Forscher, so meinte Lagrange halb mißmutig, sei in der Lage des großen Engländers, ein Weltsystem in seinen inneren Triebfedern bloßlegen zu können. Aber gewaltige Leistungen waren trotzdem zu verzeichnen, und wenn auch Deutschland, das von den furchtbaren Schlägen des dreißigjährigen Krieges schwerst betroffene aller europäischen Länder, in dem allgemeinen Wettkampfe fürs erste arg zurückgeblieben war, so hatte es doch seit 1750 etwa die rühmlichsten Anstrengungen gemacht, den ihm zukommenden Platz zu erobern. Ein nicht gering zu schätzender Anteil an diesem Erfolge war den Hochschulen zugefallen, die mehr und mehr erkannten, daß es nicht ihre einzige Pflicht sei, nach mittelalterlicher Weise

ihren Schülern ein fest begrenztes Maß gesicherter Erkenntnis zu übermitteln, sondern daß es gerade ihren Lehrern zukomme, dem Volke die Fackel voranzutragen und durch eigene Forschung der Wissenschaft neue Ergebnisse zuzuführen. Die britischen Universitäten hatten diesen ihren Beruf schon früher richtig erkannt; auf deutschem Boden hatte das neu geschaffene Halle die Spitze genommen, und Göttingen, Königsberg, Kiel, Leipzig, Erlangen waren nachgefolgt. In den Akademien der Hauptstädte fand gerade die naturwissenschaftliche Arbeit die nachhaltige innere und äußere Unterstützung, ohne welche sie, schon aus rein materiellen Gründen, nur in weit bescheidenerem Maße hätte gedeihen können.

Noch bestand zwischen empirischem Forschen und reinem Denken die allein richtige Beziehung, welche keinen von beiden Teilen zu gunsten des anderen einschränkte, und mit deren Aufgabe bald nachher, wie sich zeigen wird, ein folgenschwerer Rückgang eingeleitet wurde. Mit durchdringendem Geiste hatte Kants „Kritik der reinen Vernunft“ von 1781 die Grundlinien eines in dieser Form neuen Grenzgebietes zwischen Philosophie und Naturwissenschaft entworfen; die Erkenntnistheorie, zu der man ja freilich auch bereits bei Griechen und Arabern, bei Nikolaus von Cusa und Francis Bacon, bei Descartes und Leibniz Anklänge nachweisen kann, belehrte die Menschen über die ihrem Können und Wissen gezogenen Grenzen und bewahrte vor der Gefahr, das Unmögliche und Unerreichbare anstreben zu wollen. Ohne jene extremen Konsequenzen zu ziehen, welche im Geiste Humes und Berkeleys wirkliche Naturerkenntnis so gut wie unmöglich machten, verlieh Kants Phänomenalismus dem ernsthaft Suchenden die untrügliche Richtschnur, welcher folgend er im Gewühle isolierter Einzelsätze den beherrschenden Standpunkt zu finden und einzuhalten vermochte. Wir werden uns später überzeugen, daß gerade die modernste Naturwissenschaft mit aller Entschiedenheit wieder auf den Weisen von Königsberg zurücklenkt und bereitwillig die Schranken anerkennt, welche uns gezogen sind durch seine Lehren, nach welchen wir niemals die Dinge so sehen, wie sie wirklich sind, sondern lediglich in dem Bilde, welches das oft trügerische Medium unserer Sinneswelt uns von jenen verschafft.

Obenan standen unter den einzelnen Teilen der Naturwissenschaft — und hier haben wir es ja nur mit deren anorganischer Seite zu thun — diejenigen, welche sich auf mathematischer Grundlage aufbauen. Die Art und Weise der Anwendung der Mathematik auf Probleme der Erfahrungswissenschaften hatte jedoch eine durchgreifende Umgestaltung erlitten. Während noch Newton im wesentlichen mit demselben Rüstzeuge arbeitete, welches auch seinen großen Vorläufern in der Entschleierung der wahren Weltordnung gedient hatte, schuf Leibniz in der sogenannten Infinitesimalrechnung oder höheren Analysis ein Hilfsmittel von ganz unverhältnismäßig größerer und leichterer Verwendungsfähigkeit. An die Stelle strenger geometrischer Konstruktion, mit der eben nur der vollendete Meister sich abzufinden verstand, trat methodische Rechnung; war sie auch viel weniger einwurfsfrei in ihren Prinzipien, so überzeugte doch jeder neue Fall, in dem sie ihre Dienste leistete, daß man sich in der Praxis ganz auf sie verlassen könne, und in langsamerem Fortschreiten holte die Theorie nach, was im ersten Eifer und in der berechtigten Freude, ein so ungemein kräftiges Instrument zur Verfügung zu haben, versäumt worden war. In erster Linie waren es die französischen Analytiker, durch welche die Lehre von der allgemeinen Körperschwere ihre Ausbildung fand. Clairaut, D'Alembert, Lagrange, Laplace, Legendre wiesen nach, daß auch die anscheinend verwickeltsten Planetenbewegungen ausschließlich durch die Störungen, d. h. durch die wechselseitige Anziehung der einzelnen Wandelsterne, befriedigend zu erklären seien; die unter dem Namen der Präzession und Nutation bekannten Schwankungen der Erdachse, die Gezeiten des Meeres und die Abplattung der einzelnen Himmelskörper fanden ihre kausale Erklärung, und insbesondere gelang auch die Erforschung der wahren, d. h. sphäroidischen Erdgestalt durch Gradmessung und Pendelversuch. Gestützt auf unangreifbare physikalische Gesetze, wagte sich P. S. Marquis De Laplace (1749—1827) an die schwierige Aufgabe, den Urzustand des Sonnensystemes aufzuklären, und indem er von der Annahme ausging, daß anfänglich alle Planeten sich in einem Gasballe von ungeheurer Ausdehnung und ebenso ungeheurer Verdünnung zusammengefunden hätten, kam er zu einer jedenfalls

plausiblen kosmogonischen Theorie, welche das folgeweise sich vollziehende Ausscheiden jedes einzelnen Wandelsternes aus der Gesamtmasse als eine notwendige Folge der Gesetze der Zentrifugalkraft, Abkühlung und Zusammenziehung hinstellte. Mit Unrecht spricht man häufig von einer Kant-Laplaceschen Hypothese, denn wenn auch der deutsche Philosoph Immanuel Kant (1724—1804) in seiner „Naturgeschichte des Himmels“ von 1755 denselben Ideen nachhing, welchen der französische Mathematiker in der „Exposition du système du monde“ von 1796 Ausdruck verlieh, so war doch im erstgenannten Falle die Kenntnis der mechanischen Fundamentalwahrheiten noch bei weitem nicht so vollkommen, um darauf Folgerungen von größerer Tragweite begründen zu können. Mit den genannten Franzosen wetteiferte in jeder Beziehung Leonhard Euler aus Basel (1707—1787), dem außer zahllosen Abhandlungen über alle Zweige der reinen und angewandten Mathematik die Abfassung regelrechter Lehrbücher der Lehre vom Gleichgewichte und von der Bewegung und damit die Möglichkeit zu ruhigem, systematischem Fortschreiten in diesen bis dahin noch zumeist auf geniale Inspiration angewiesenen Disziplinen zu danken ist.

Mit so staunenswertem Wachstum derjenigen Abschnitte der Physik, welche in engster Wechselwirkung mit der Mathematik stehen, hatte allerdings die übrige Naturlehre noch nicht gleichen Schritt halten können, allein immerhin war doch auch für Beobachtung und Experiment eine neue Epoche angebrochen. Man hatte gelernt, der Natur Fragen vorzulegen und sie zu deren Beantwortung unter gewissen Bedingungen zu zwingen. In seiner vortrefflichen Monographie „Essai sur l'art d'observer et de faire des expériences“ (Genf 1775) erörterte J. Senebier (1742—1809) das Wesen der Experimentiertechnik, und in den Instituten der Universitäten, unter denen dasjenige Lichtenbergs in Göttingen als das best ausgestattete galt, wurden bereits gelegentlich ausgedehntere Experimentaluntersuchungen ausgeführt. Ein Blick in die besseren physikalischen Lehrbücher jener Zeit belehrt uns, daß das System der Wissenschaft der Hauptsache nach bereits ganz den Inhalt umfaßte, der ihm nahezu hundert Jahre verbleiben sollte; beginnt ja doch erst die allerneueste Zeit damit, eine neue Systematik auf dem

Energieprinzipe aufzubauen und damit die hergebrachte Einteilung von Grund aus zu verändern. Das Kompendium von J. C. P. Erxleben (1744—1777), welches 1772 zum ersten Male ausgegeben wurde und nachmals, dank der Fürsorge G. C. Lichtenbergs (1744—1799), der seine Göttinger Vorträge danach einrichtete, eine stattliche Reihe von Auflagen erlebte, kann als ein besonders geeigneter Ratgeber für Den empfohlen werden, der erfahren will, was damals zu einem akademischen Kursus der Physik gehörte, und wie man bei Einrichtung eines solchen zu Werke ging.

Die mechanische Physik zog aus den uns schon bekannten Fortschritten der reinen Theorie selbstverständlich den größten Nutzen, aber auch mit der technischen Praxis stand sie in stetiger, für beide Teile gleich förderlicher Wechselbeziehung. Die Drehwage von H. Cavendish (1731—1810), welche erstmalig Masse und Dichte des Erdkörpers genauer zu bestimmen gestattete, die Fallmaschine von G. Atwood (1745—1807), die Dezimalbrückenwage von Quintenz und Schwilgué, der hydraulische Widder von Montgolfier, die hydraulische Presse von Bramah — dies alles sind Erfindungen, welche dem ausgehenden 18. Jahrhundert angehören und klar erkennen lassen, wie weit man bereits in der Beherrschung der Naturkräfte und in deren Nutzbarmachung zur Auflösung theoretischer Fragen gelangt war. Die Gesetze, nach denen die strömenden Flüssigkeiten ihre Bewegung vollziehen, waren durch eine Reihe hervorragender italienischer Hydrotechniker, veranlaßt durch die Eigentümlichkeiten ihres an Überschwemmungen und Flußkorrektionen reichen Vaterlandes, zum großen Teile ergründet worden, so daß erst in neuerer Zeit eine Befruchtung der Hydraulik und Hydrodynamik mit ganz neuen Gedanken erfolgte. Die Aërostatik blickte mit Stolz auf die im Jahre 1783 gleich zweimal und zwar unabhängig erfundene Flugmaschine, deren Eigenschaften auch der Theorie, wie C. Kramps (1760—1826) im Jahre 1786 erschienenes Werk darthut, einen mächtigen Anstoß verliehen. E. F. F. Chladni (1756—1827) hieß allgemein „Vater der Akustik“, und in der That hatte der von ihm geführte Nachweis, daß man den Schwingungszustand von Platten und Scheiben durch die viel besprochenen „Klangfiguren“ sinnenfällig darstellen könne, für die Einreihung dieses

bis dahin in noch ziemlich unsicherer Stellung befindlichen Wissenszweiges in die physikalische Mechanik die vorteilhaftesten Folgen. Schon sehr abgeschlossen und tiefer durchgearbeitet stand die Lehre vom Lichte da. Man unterschied in ihr ein geometrisches und ein physikalisches Element; das geometrische hatte von jeher, bei Euklid, Alhazen und dem mittelalterlichen Witelo (Vitellion) liebevolle Pflege gefunden, und über alles, was irgendwie mit der geradlinigen Fortpflanzung, mit Spiegelung und Brechung des Lichtes zusammenhing, wußte man um 1800 völlig zureichende Auskunft zu geben. Dagegen war durch die neuen Erscheinungen der Farbenzerstreuung, Beugung, Doppelbrechung und Polarisation eine neue Welt erschlossen worden, und um sich in dieser zurechtzufinden, bedurfte es mehr als der grobsinnlichen Emissionstheorie, welche allerdings noch die Mehrzahl der Lehrstühle und Lehrbücher beherrschte. Der große Huygens hatte dieser Auffassung seinerseits eine Vibrationstheorie gegenübergestellt, welche zwar noch insofern fehlgriff, als sie die Lichtschwingungen für longitudinal erklärte, aber es war doch das Eis gebrochen, die begriffliche Identität von Luft- und Ätherschwingungen, die Zusammengehörigkeit von Akustik und Optik anerkannt. In einer weit verbreiteten populären Schrift („Briefe an eine deutsche Prinzessin über einige Gegenstände der Physik und Philosophie", 1768—1772) führte Euler aus, daß allenthalben ein Mittel von äußerster Feinheit die Zwischenräume zwischen den Körpern erfülle, und daß eine undulatorische Bewegung dieses Äthers von unserem Sehorgane als Licht empfunden werde. Gerade in der Zeit, welche uns gegenwärtig beschäftigt, war Thomas Young (1773—1829) als Bahnbrecher der neuen Lehre hervorgetreten, mit dem wir uns später eingehender zu beschäftigen haben werden.

Die alte Doktrin, daß es einen imponderablen Licht- und Wärmestoff, ebenso wie unwägbare magnetische und elektrische Flüssigkeiten gäbe, war auch von anderer Seite ernstlich erschüttert worden. Bei seinen planmäßigen Versuchen in der Münchener Kanonengießerei war Benjamin Thompson (1753—1814), den der bayerische Kurfürst kurz zuvor zum Grafen v. Rumford erhoben hatte, zu der Einsicht gelangt, daß alle Wärmeerscheinungen in Wirk-

lichkeit nur Bewegungserscheinungen seien; wenn ein Stahlbohrer in einen Zylinder aus Geschützmetall immer tiefer eindrang und Span auf Span von diesem loslöste, stieg unaufhörlich die Temperatur des umgebenden Wassers, ohne daß irgend ersichtlich war, wieso neuer Wärmestoff zu dem allenfalls vorhandenen hätte hinzutreten können. Seit 1778 befand sich Rumford im Besitze dieser neuen Thatsachen, aber erst mit dem Jahre 1796 begannen die Veröffentlichungen, welche großes Aufsehen erregten und mehrfach zur Wiederholung des Grundversuches anreizten. Ein später sehr berühmt gewordener englischer Naturforscher, Humphry Davy (1778—1829), gestaltete weiter aus, was sein Vorgänger nur angedeutet hatte, und sein „Essay on Heat, Light and the Combinations of Heat" (postum ediert) darf als eine erste Programmschrift der modernen Physik angesehen werden, für welche es keine grundsätzlich verschiedenen Naturkräfte, sondern lediglich äußerlich verschiedene Bethätigungen der einen, umfassenden Energie giebt. Es kam hinzu, daß durch Rumford und J. Leslie (1766—1832) die Normen, welche das Verhalten der sogenannten strahlenden Wärme regeln, als mit den optischen Grundgesetzen wesentlich zusammenfallend erkannt worden waren. Gerade das Jahr 1800, in welchem auch F. W. Herschel (1738—1822) die Existenz dunkler Wärmestrahlen aufdeckte, welche keinen Eindruck auf unsere Netzhaut hervorbringen, dafür aber das jenseits der roten Farbe gelegene Ende des Sonnenspektrums stärker erwärmen, kennzeichnet einen bedeutsamen Wendepunkt in der Entwickelung der Wärmelehre, wenn auch freilich Jahrzehnte vergehen mußten, ehe aus den einstweilen nur fragmentarisch aneinandergereihten neuen Wahrnehmungen die vollen Konsequenzen gezogen werden konnten.

Gewaltig war in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts die Elektricitätslehre gewachsen. Wenn wir fürs erste nur die althergebrachte Erregung anziehender und abstoßender Kräfte durch Reibung ins Auge fassen, so stand jetzt eine ganze Anzahl sinnreich erdachter Apparate zur Verfügung, welche große Leistungen mit einem Minimum von Kraftaufwand hervorzubringen gestatteten. Lichtenberg hatte die von R. Symmer (gest. 1763) gegen B. Franklin (1706—1790) verfochtene Meinung, es müßten zwei

verschiedene Elektricitätsarten, eine positive und eine negative, angenommen werden, zum Siege geführt, und die noch jetzt seinen Namen tragenden „Figuren" schienen diese Zweiteilung unwiderleglich für jedermann zu erhärten. Anknüpfend an die teilweise in großem Maßstabe ausgeführten Versuche Grays, Dufays, Le Monniers u. a., hatte Franklin die atmosphärische Elektricität erforscht und im Anschlusse daran den ersten Blitzableiter konstruiert — eine Entdeckung, die dadurch nicht geschmälert wird, daß schon 1754 der mährische Geistliche Divisch (1696—1765) eine ganz entsprechende Vorrichtung wirklich an einem Hause angebracht hatte. Durch Canton, Aepinus, Bergman und Wilke war man auch einer ganz anderen Elektricitätsquelle auf die Spur gekommen, der Pyroelektricität, welche sich zeigte, wenn man die beiden Enden gewisser Krystalle ungleich erwärmte. Ein französischer Physiker A. Coulomb (1766—1806), lieferte diesen Zweigen der Experimentalphysik um das Jahr 1784 den bisher schmerzlich vermißten, sehr hohe Schärfe verbürgenden Meßapparat, mittels dessen auch schwache Polarkräfte numerisch bestimmt und verglichen werden konnten; die Kraft, mit welcher irgend ein gedrehter Faden in seine Ruhelage zurückstrebt, ist auch später noch vielfach für ähnliche Zwecke ausgenützt worden. Insbesondere ließ sich nunmehr auch daran denken, den vom Zustande der umgebenden Luft abhängigen Zerstreuungsverlust abzuschätzen, welchen jede elektrisch geladene Oberfläche im Laufe der Zeit erleidet.

Allein das Interesse an der Reibungs- und Thermoelektricität hatte eben zu erkalten begonnen, weil eine neue Naturkraft, deren Verhalten zu den beiden vorgenannten Kraftformen erst zu ermitteln war, gebieterisch allseitige Beachtung erheischte. Zwar kannte man schon geraume Zeit die Eigentümlichkeit gewisser Fische, beim Berührtwerden kräftige Schläge auszuteilen; hatte man doch schon in der antiken Medizin daran gedacht, diese Kraftäußerung für die Therapie zu verwerten. Es lag nahe, an den Entladungsschlag einer elektrischen Batterie zu denken, zumal da Walsh und Hunter eigenartige Organe im Leibe solcher Tiere aufgefunden hatten; aber mit Bestimmtheit war der Satz, daß eine specifisch tierische Elektricität existiere, erst von L. Galvani (1737

bis 1798) aufgestellt worden, dessen Froschexperimente 1792 bekannt gemacht und durch eine im Jahre darauf herausgegebene Übersetzung der Originalschrift weiteren Kreisen näher gerückt wurden. Man weiß, daß A. Volta (1745—1822), der sich ursprünglich mit Begeisterung auf Galvanis Seite gestellt hatte, nach und nach die Mitwirkung des tierischen Muskels als etwas ganz Zufälliges und Gleichgültiges betrachten lernte und an die Stelle dieser Hypothese eine solche von rein physikalischem Charakter setzte: Elektricität entsteht immer dann, wenn sich zwei verschiedenartige Metalle berühren. Bald galt, nachdem der Aufbau der Voltaschen Säule ein Mittel zur Erzeugung sehr starker elektrischer Kräfte an die Hand gegeben hatte, die Streitfrage als im Sinne des jüngeren Forschers entschieden, obwohl man pietätvoll auch den Namen des älteren in dem Worte Galvanismus verewigte. Erst ein halbes Jahrhundert später hat dann E. Du Bois-Reymond (1818—1896) das entscheidende Wort gesprochen und außer Zweifel gesetzt, daß, so unstreitig auch Volta mit seiner Theorie der selbständigen Kontaktelektricität im vollen Rechte war, doch auch in der That der animalische Körper von in ihm entstandenen elektrischen Strömen durchdrungen wird. Erst das neue Jahrhundert sollte überhaupt des wahren Wesens der neuen Energiequelle vollständig inne werden und den ungeheuren Einfluß kennen lernen, welchen deren Studium auf fast alle Teile der exakten Wissenschaften auszuüben berufen war.

Unter ihnen steht die Chemie in der vordersten Reihe, aber dazumal wäre gewiß nur wenigen vergönnt gewesen, einen solchen Zusammenhang nur zu ahnen, geschweige denn klar zu übersehen. Weit mehr noch als die Physik steckte diese Wissenschaft in ihren Kinderschuhen, und es war noch gar nicht lange her, daß sie die Bande gelöst hatte, durch welche sie ehedem mit Magie, Alchymie und allen möglichen Geheimkünsten verquickt und an der Entfaltung ihrer inneren Kräfte verhindert gewesen war. Im Jahre 1760 gab die medizinische Fakultät der Universität Ingolstadt ein Gutachten des Inhaltes ab, daß experimentelle Vorträge über Chemie für die Studierenden überflüssig seien, weil die „Arcana“, mit Einschluß des Goldmachens, auf „eitel Prahlerei“

hinausliefen. Wohl stand nicht überall die Erkenntnis auf einem so niedrigen Niveau, denn schon zu Anfang des 18. Jahrhunderts hatte Boerhaave in Leiden eine wahre Chemikerschule begründet, und einzelne deutsche Universitäten, unter denen das kleine Altdorf manch größere Schwesterstadt beschämte, waren mit der Einrichtung wohleingerichteter Laboratorien vorgegangen. Aber erst seit den siebziger Jahren regte sich ein neuer Geist, der sofort Entdeckungen von unermeßlicher Tragweite zeitigte. Fünf Männer sind es, mit deren Namen der Aufschwung der modernen Chemie und der Niedergang der von Stahl und Becher begründeten, den damaligen Zeitansprüchen allerdings recht wohl genügenden Phlogistontheorie unlöslich verknüpft ist. Dies sind die Engländer J. Priestley (1733—1804), Cavendish und J. Black (1728—1799), der aus einem Deutschen (Stralsunder) zum Schweden gewordene K. W. Scheele (1742—1786) und, als der bedeutendste, der Franzose A. L. Lavoisier (1743—1794). Black war es, der zuerst auf den Unterschied zwischen gewöhnlichem und sogenanntem kaustischem Kalk aufmerksam ward und aus dem kaustischem das von ihm als fixe Luft bezeichnete Gas abschied. Erst allmählich wurde diese fixe Luft als das, was sie ist, als Kohlensäure erkannt. Indem Lord Cavendish die Experimentierkunst durch seinen pneumatischen Trog bereicherte, vermochte er verschiedene Eigenschaften jenes neuen Stoffes zu entdecken, und bald darauf stellte er diesem einen zweiten zur Seite, von dessen Vorhandensein bis dahin niemand etwas geahnt hatte. Es war die durch ihre ungemein große spezifische Leichtigkeit ausgezeichnete brennbare Luft, die der Gegenwart unter dem Namen Wasserstoff bekannt ist. Auf dem so gelegten Boden baute mit größtem Erfolge Priestley fort, indem er den Stickstoff und eine weitere Gasart darstellte, welche, weil man bald in ihr das notwendige Mittel zur Unterhaltung jeder Art von Lebensprozeß gefunden zu haben glaubte, zunächst als Lebensluft, später als Sauerstoff in die Reihe der selbständigen, nicht weiter zerlegbaren Körper aufgenommen wurde. Im Jahre 1784 stellte Cavendish fest, daß das Wasser, seit Aristoteles für eine Grundsubstanz aller irdischen Dinge gehalten, in Wahrheit als eine chemische Verbindung von Wasser- und Sauerstoff anzusehen sei. Ganz unabhängig von

Priestley hatte auch Scheele (1774) das Oxygengas aus Braunstein gewonnen, aber trotzdem und auch ungeachtet zahlreicher wichtiger Funde im Bereiche der organischen Chemie blieb er der phlogistischen Lehre treu, mit welcher sich alle bisherigen Erfahrungen ganz gut zu vertragen schienen. Erst die Berücksichtigung des quantitativen Elementes durch Lavoisier konnte hier Wandel schaffen.

Der herrschenden Theorie nach sollte der Verbrennungsprozeß sich in der Weise vollziehen, daß aus den brennbaren Körpern ein unbekanntes Etwas im Zustande äußerster Feinheit austrete, das sogenannte Phlogiston. Bei der Verbrennung, dachte man sich, entweiche diese Materie in die umgebende Luft, und was als Asche oder „Metallkalk“ zurückbleibe, sei einfach der ursprüngliche Stoff ohne Phlogiston. Wäre dem so, dann müßten diese Residuen leichter als die mit dem Agens der Verbrennung noch verbundenen Körper sein, und an eine Gewichtszunahme konnte in keinem Falle, selbst wenn man dem Phlogiston die Eigenschaft der Wägbarkeit absprach, gedacht werden. Indem aber Lavoisier, gleichfalls in dem für die Entwickelung der Chemie so bedeutungsvollen Jahre 1774, mit der Wage in der Hand die Gesamtheit der in Frage kommenden Vorgänge prüfte, gelangte er zu einem unerwarteten, der alten Hypothese direkt widersprechenden Ergebnis: Die Verkalkung macht die Metalle um ebensoviel schwerer, als die umgebende Luft leichter geworden ist. Genauere Untersuchung zeigte, daß sich der Sauerstoff der Atmosphäre bei der eigentlichen sowohl wie bei der langsamen Verbrennung — dem Verrosten — mit dem festen Körper verbunden und in diesem eine Veränderung hervorgerufen haben mußte. Die Thatsache selber war freilich schon 150 Jahre früher von Rey wahrgenommen und von Mayow in ziemlich spitzfindiger, dem Geiste der älteren Chemie angepaßter Weise zu erklären versucht worden, aber erst Lavoisier deckte durch unangreifbare Schlüsse die wirkliche Ursache auf, für deren Richtigkeit auch bald die hervorragendsten französischen Fachmänner, C. L. Graf Berthollet (1748—1822), A. F. Fourcroy (1755—1809) und L. B. Guyton de Morveau (1737—1816), gewonnen waren, so daß nur noch J. C. de la Métherie (1743—1817) den immer

aussichtsloser werdenden Kampf zu gunsten des Phlogiston fortsetzte. Auch R. Kirwans (1735—1812) Meinung, eben diese Materie sei im Wasserstoffgas thatsächlich aufgefunden, vermochte den Siegeszug der antiphlogistischen Chemie nicht aufzuhalten, und Kirwan selbst, der letzte Kämpe von wissenschaftlichem Rufe, legte 1796 mit einer denkwürdigen Erklärung die Waffen nieder. Damit war Großbritannien endgültig für die große Reform gewonnen, und auch Deutschland, das sich keiner solchen Autoritäten rühmen durfte, ging in den neunziger Jahren unter dem Einflusse M. H. Klaproths (1743—1817) und C. Girtanners (1760—1800) entschieden in das Lager der Neuerer über. Das 19. Jahrhundert hat keinen Phlogistiker mehr gesehen.

Leider war es dem genialen Lavoisier nicht vergönnt, die reiche Aussaat, die von ihm ausgegangen war, zur vollen Ernte heranreifen zu sehen. Als Inhaber eines den Schreckensmännern von 1793 besonders verhaßten Amtes, einer Steuerpächterei, sah er sich dem wilden Sturme dieses furchtbaren Jahres überantwortet. Am 8. März 1794 starb er auf der Guillotine; „die Republik bedarf keiner Gelehrten“, soll einer der Beisitzer des ihn verurteilenden Tribunales ausgerufen haben. Doch war es ihm wenigstens noch vergönnt gewesen, im Bunde mit seinen vorher genannten Landsleuten das neue System einer in sich konsequenten chemischen Nomenklatur zu schaffen, dasselbe, welches in seinen Grundzügen für alle Folgezeit maßgebend geblieben ist.

Das Ende des 18. Jahrhunderts sah auch noch einen neuen Zweig der Chemie, die Stöchiometrie, entstehen, deren Begründer J. B. Richter, ein deutscher Berg- und Hüttenmann (1762—1807), war. Schon seine Erstlingsschrift (Königsberg i. Pr. 1789) beschäftigte sich mit der Möglichkeit, die Mathematik in der Chemie zur Geltung zu bringen, und sein größeres Werk („Anfangsgründe der Stöchiometrie oder Meßkunst chemischer Elemente“, Breslau-Hirschberg 1792—1794) führte den Gedanken folgerichtig durch. Er suchte generell die Gewichtsverhältnisse festzustellen, in welchen sich Säuren und Basen zu Salzen verbinden. Manche Dunkelheiten und auch Unrichtigkeiten ließen die wichtige Neuerung nicht sofort zu allgemeiner Anerkennung gelangen, und erst nach seinem Tode

brach sie sich Bahn, obwohl Richters Verdienst noch längere Zeit im Schatten blieb. Erst durch Berzelius ward man völlig der Thatsache inne, daß bei dem deutschen Forscher manche der Gesetzmäßigkeiten bereits ausgesprochen waren, welche man gewöhnlich mit den Namen Proust und Berthollet in Verbindung bringt.

Im Verlaufe des 18. Jahrhunderts war die nahe Verwandtschaft zwischen Chemie und Mineralogie immer deutlicher hervorgetreten. Durch Konrad Geßner, Caesalpinus und Steno (Stensen) war das Wesen der unter dem Namen Krystalle bekannten Formen wenigstens zum Teile erschlossen worden, und man wußte, daß die stereometrische Untersuchung für die Normalform eines bestimmten Mineralkörpers stets gleichbleibende ebene und Flächen-Winkel liefere. Aber selbst K. v. Linné (1707—1778), der große Systematiker der beschreibenden Naturkunde, glaubte die Krystallgestalt als das auszeichnende Merkmal der Stellung irgend eines Körpers in der mineralogischen Rangordnung noch ablehnen zu müssen, oder richtiger ausgedrückt, er ließ sich ganz von der Rücksicht auf äußere Formähnlichkeit leiten und verzichtete auf die entscheidende Winkelmessung. Immerhin wirkte das Studium seines lithologischen Werkes, von dem Linné selber nicht gerade hoch dachte, anregend auf einen jungen Gelehrten ein, der in der Beschäftigung mit der Krystallographie seine eigentliche Lebensaufgabe erblickte. J. B. L. Romé Delisle (1736—1790) drang zwar, wie seine älteren Veröffentlichungen darthun, auch nur sehr allmählich in die wahre Bedeutung der betreffenden Fragen ein, aber sein vierbändiges, 1783 erschienenes Hauptwerk bezeugt doch deutlich genug, daß ihm das Prinzip der Winkelkonstanz, wenn auch vielleicht noch nicht in seiner vollen Tragweite, geläufig geworden war. Hat er doch auch als der erste einen eigens dafür bestimmten Apparat, ein die genaue Festlegung der charakteristischen Neigungen erheblich erleichterndes Goniometer, angegeben. Allein stets noch wurde der zufällig vorliegende Mineralkörper als eine nicht weiter zerlegbare Einheit betrachtet, und der letzte Schritt wurde mithin erst dann gethan, als R. J. Hauy (1743—1822), dem seine Gegner deshalb den Beinamen „Krystalloklast“ beilegten, die Spaltbarkeit eines

Krystalles nach gewissen Flächen und die dadurch gegebene Möglichkeit der Gewinnung kleinerer Körper von genau derselben geometrischen Beschaffenheit erkannt hatte. Hauys „Strukturtheorie“, die im Jahre 1784 dem Publikum übergeben ward, drang um so weniger rasch durch, als ihr außer Romé Delisle selbst, der dem glücklichen Nebenbuhler wenig gewogen war, auch der als Stilist mehr denn als Forscher hervorragende Verfasser der „Histoire Naturelle“, Graf G. L. Buffon (1707—1788), eine sehr zurückhaltende Aufnahme bereitete. Wesentlich seiner Lehrthätigkeit, vorerst an der Normalschule und nachher am naturgeschichtlichen Museum, hatte er es zu danken, daß seine neuen Anschauungen den Sieg errangen, der mit seinem „Traité de minéralogie“ (Paris 1801) gesichert erschien. Derselbe war insbesondere auch hinsichtlich der Vollzähligkeit der untersuchten Krystallformen nicht leicht zu übertreffen, und wenn auch die mathematische Begründung, welche Hauy seinen molekulartheoretischen Lehren verlieh, keineswegs als einwurfsfrei gelten konnte, so verbleibt ihm doch der Ruhm, die Mineralogie auf jene unerschütterliche Grundlage gestellt zu haben, von der aus sie ihren heutigen hohen Stand erreichen sollte.

Es ist schon davon die Rede gewesen, wie die theoretische Sternkunde, indem sie sich auf das engste an die gewaltigen Fortschritte des analytischen Teiles der Mathematik anschloß, in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts zu den tiefsten Einsichten in die Konsequenzen der Newtonschen Lehre von der allgemeinen Körperschwere gelangte. Aber auch die beobachtende und messende Astronomie blieb nicht zurück. John Dollond (1706—1761) hatte, indem er je eine hohle und erhabene Linse aus verschiedenen Glassorten zusammenfügte, die bisher so lästige Farbenzerstreuung im Fernrohre auf ein nicht mehr störend wirkendes Minimum herabgedrückt, und seine Söhne John und Peter versorgten alle ein höheres Ziel anstrebenden Beobachter mit solchen achromatischen Tuben, durch welche sowohl die feinere Einstellung, als auch die genauere Betrachtung von Einzelheiten an den Oberflächen der uns näheren Weltkörper gewährleistet wurden. Der Neffe George des älteren John hat den Familiennamen bis zum Jahre 1852

in der praktischen Dioptrik erhalten. Und während also diese Kunst, welche die unmittelbare Vergrößerung der Bilder dadurch erreicht, daß sie die Lichtstrahlen ein System genau berechneter, zentrierter Glaslinsen zu durchlaufen zwingt, eine immer höhere Ausbildung erreichte, erstand unter F. William Herschel, einem aus Hannover nach England ausgewanderten Militärmusiker, auch der Katoptrik eine neue Epoche. Gregory, Cassegrain u. a. hatten die von den Gestirnen ausgeschickten Strahlen in einen metallenen Hohlspiegel von thunlichst parabolischer Form vereinigt und das so entstehende Bild durch eine Linse betrachtet, aber ihre Instrumente konnten weder technisch noch auch in den Grundsätzen der Einrichtung den Vergleich aushalten mit den Riesenteleskopen, welche Herschel — späterhin unterstützt von seiner Schwester Karoline (gest. 1848 im 99. Lebensjahre) und seinem Sohne John (1792—1871) — gegen den gestirnten Himmel richtete. Ihm verdankte die Wissenschaft die Entdeckung mehrerer Planetenmonde und vor allem diejenige eines neuen Planeten, des jenseits des Saturn die Sonne umlaufenden Uranus (13. März 1781). Auch die Sternhaufen, die Nebelflecke und die veränderlichen Sterne zogen die Aufmerksamkeit der Familie Herschel auf sich, und die sogenannten Sternaichungen gaben zum erstenmal ein angenähertes Bild von der Verteilung der Fixsterne im Raume und von der ungefähren Lage unseres Sonnensystemes gegenüber anderen kosmischen Gruppen. So wie Großbritannien die Verschärfung der Kraft des menschlichen Auges förderte, ebenso gaben seine ausgezeichneten Mechaniker — Bird, Ramsden, Troughton — den Astronomen auch die beträchtlich vervollkommneten Winkelmeßinstrumente in die Hand, durch welche Bogengrößen bis nahe an eine Sekunde heran der Messung oder wenigstens der Schätzung zugänglich wurden. Dem Azimutalquadranten waren der Mauerquadrant und der Zenitsektor gefolgt, und schon bereitete sich ein weiterer Fortschritt vor, indem an die Stelle der Kreisteile der Vollkreis trat, vielleicht noch mit dem von J. Tobias Mayer dem älteren (1723—1762) ersonnenen Multiplikationsverfahren. Ein Deutscher, der sächsische Gesandte Graf Brühl beim englischen Hofe, wies seine Landsleute und den Kontinent überhaupt auf die unverkennbaren Vorteile der ganzen

astronomischen Kreise hin. Um die Wende des Jahrhunderts vollzog sich der Umschwung, welcher die massigen und unbehilflichen Instrumente der nachtychonischen Periode endgültig beseitigte und in Meridiankreis und Mittagsfernrohr der modernen Sternwarte ihre unentbehrlichsten Inventarstücke sicherte. Neben den stabilen Instrumenten wußte sich aber auch der — zwar schon 1731 von John Hadley erfundene, aber lange Zeit nur von den Seeleuten seinem wahren Werte nach gewürdigte — Spiegelsextant ein immer größeres Ansehen zu verschaffen; auch wissenschaftliche Reisende, wie der um die Erforschung Arabiens hochverdiente Carsten Niebuhr (1733—1815), drangen auf vervollkommnete Hilfsmittel zur schärferen Festlegung geographischer Positionen. Ein deutscher Astronom, Baron A. Zach (1747—1826), hatte in den neunziger Jahren die Sternwarte, welche die Freigebigkeit eines thüringischen Herzogs auf dem Seeberg nächst Gotha hatte erstehen lassen, zu einer Lehrschule für jüngere aufstrebende Elemente gemacht und es sich insbesondere angelegen sein lassen, diese seine Schüler in der Anstellung scharfer Beobachtungen zum Zwecke geographischer Ortsbestimmung zu üben. Von ihm waren unmittelbar angeregt der spätere Weltumsegler J. X. Horner (1774—1834), der Astronom der Expedition des russischen Kapitäns v. Kotzebue, und vor allem Alexander v. Humboldt, der durch seine zahlreichen Beobachtungen erst eine genauere Kartierung Süd- und Mittelamerikas möglich machte. Die Berechnung solcher Beobachtungen war durch J. Bradleys (1692—1762) Entdeckung der Nutation und Aberration in ihrer Genauigkeit namhaft gesteigert worden, und auch den Einfluß der Refraktion, der astronomischen Strahlenbrechung, wußte man ziemlich genau in Rechnung zu stellen. Dagegen hatten noch alle Hoffnungen, die Parallaxe der Fixsterne zu ermitteln und damit den noch ausstehenden direkten Beweis für die Richtigkeit des zweiten coppernicanischen Hauptsatzes zu erbringen, auf Verwirklichung verzichten müssen, und nur Christian Mayers (1719—1783) „Fixsterntrabanten“ mochten die Erwartung stärken, daß schließlich doch auch noch die Jahresbewegung der Erde erkennbare Richtungsunterschiede der nach einem bestimmten Sterne gezogenen Gesichtslinien ergeben werde. Die Eigen-

bewegung der Fixsterne verschwindet seit dem letzten Jahrzehnt des 18. Jahrhunderts nicht mehr von der wissenschaftlichen Tagesordnung.

Man darf es wohl aussprechen, daß in der Zeit, deren Charakteristik uns an dieser Stelle zur Pflicht gemacht ist, die Astronomie am weitesten voraus war und alle übrigen Disziplinen unseres Arbeitsgebietes an innerer Durchbildung wie an äußeren Erfolgen überragte. Welch gewaltigen Nutzen die Erdkunde aus ihrer nahen Verwandtschaft mit der Himmelskunde zog, ist bereits angedeutet worden; wenigstens die Küstenumrisse der großen Kontinentalmassen waren ihrem Verlaufe nach bekannt, und auch in ihrem Inneren fehlte es nicht mehr an befestigten Punkten. Erst neuerdings hat man recht klar eingesehen, welch gewaltiges Maß von Anstrengung der große Erforscher der Antarktis und der Bering-See, J. Cook (1728—1779), daran setzte, die von ihm entdeckten Orte nach Breite und Länge genau zu fixieren. In letzterer Hinsicht war den Nautikern, seitdem durch J. Harrison (1693—1776) die Verfertigung der Chronometer, durch L. Euler und Tob. Mayer die Herstellung verläßiger Mondtafeln unerwartete Verbesserungen erfahren hatten, ihre Aufgabe ganz ungemein erleichtert worden. Im 16. Jahrhundert, als sie zuerst in die Welt trat, hatte die Idee einer Bestimmung von Zeit- oder Längendifferenzen durch tragbare Uhren noch keine Aussicht auf dereinstige praktische Verwertung, aber die Sachlage hatte eine durchgreifende Änderung erfahren, und ein gleiches konnte von der annähernd gleich alten Methode der Monddistanzen behauptet werden. Auch ein anderes Bindeglied zwischen Geographie und exakter Wissenschaft, die Kartographie, war eine ganz andere geworden. Nicht nur hatte man, wie die Namen Bonne, Lorgna, Murdoch u. a. beweisen, eine Fülle neuer Regeln zur Übertragung der Kugelfläche auf die Ebene unter gegebenen Bedingungen aufgestellt, sondern auch die allgemeine Kartenprojektionslehre war von J. H. Lambert (1728—1777), Euler und J. L. Lagrange (1736—1813) zum Gegenstande von Abhandlungen gemacht worden, denen die dankbare Nachwelt die Bezeichnung klassisch nicht vorenthalten konnte. Und gleichzeitig übertrug man in Holland und Frankreich das aus der

Raumgeometrie bekannte Prinzip der Höhenkurven oder Terrainlinien auf die noch recht im argen liegende Geländedarstellung, ohne einstweilen zu ahnen, daß sich auch die mathematische Physik bei ihren Potentialbetrachtungen mit dem größten Vorteile der gleichen Art und Weise, räumliche Gestaltungsbeziehungen dem Auge einleuchtend zu machen, bedienen werde.

Das Revolutionsjahr 1789 sollte eine neue Epoche in der mathematischen Geographie insofern einleiten, als in ihm die Kommission der bedeutendsten Mathematiker und Astronomen zusammentrat, welche berufen worden war, um ein neues Normalmaß den Dimensionen des Erdkörpers anzupassen. Man weiß, daß dieses Ziel im strengen Wortsinne unerreichbar war, und es ist allen Bemühungen zum Trotze nicht wirklich erreicht worden. Allein wenn auch eine Vermessungsarbeit von so ungeheuren Dimensionen, die sich nördlich von der belgisch-französischen Grenze bis südlich zu den Balearischen Inseln ausdehnte, notwendig mit Fehlern behaftet sein mußte — Bessel hat dies später im einzelnen nachgewiesen —, so lag, wie schon die Mitwelt bald herausfühlte, der wahre Wert des neuen Maßsystemes nicht in den vermeintlichen Beziehungen zum Meridiane unseres Planeten, sondern einzig in der strengen Konsequenz, mit welcher das Dezimalsystem zur Anwendung gebracht wurde. Durch das Metermaß, sowie durch die innige Verbindung des Körpermaßes mit dem Gewichte hat das scheidende Jahrhundert seinem Nachfolger ein überaus wertvolles Vermächtnis hinterlassen, dessen wahre Bedeutung erst die Folgezeit deutlich hervortreten ließ. Zur Zeit haben alle Kulturstaaten dieses den internationalen wissenschaftlichen Verkehr so ungemein fördernde System angenommen, leider mit einziger Ausnahme Englands, welches in dieser Frage, wie auch mit der Beibehaltung der völlig antiquierten Thermometerskala von Fahrenheit, einem sehr übel angebrachten Konservatismus huldigt. Bei Anbahnung und Durchführung dieser großen Reform hat die Verbindung von Astronomie und Geometrie unvergängliche Dienste geleistet. In der Hauptsache hat ja überhaupt eine jede Wissenschaft nur Vorteil davon, wenn ihre Berührung mit der Astronomie, der exaktesten unter allen Naturwissenschaften, eine recht innige wird.

Nur in einem Falle, in dem der Meteorologie, bewährte sich diese Regel nicht, aber freilich trifft die Schuld, ausschließlich die Meteorologen selbst, welche, in tiefgreifender Verkennung des wahren Wesens der Dinge, im Wechselspiele der atmosphärischen Faktoren nur die Nachwirkung der von den Himmelskörpern ausgehenden Kräfte zu erblicken wähnten. Fast die gesamte Witterungskunde des Jahrhunderts war Astrometeorologie; sei es, daß man mechanisch die Luftströmungen aus den Gesetzen der Anziehung der Planeten, in erster Linie des Mondes, herleiten wollte, sei es, daß man durch mühsame Rechnung meteorologische Cyklen von so und so viel Jahren zu ermitteln trachtete, nach deren Umfluß der Stand der Witterung sich erneuern sollte. Es war wohl kein Zufall, daß einer der Begründer der modernen Statistik, J. C. Gatterer (1727—1799) in Göttingen, zu den eifrigsten Befürwortern dieser Art von statistischer Meteorologie gehörte, der es natürlich für immer versagt blieb, eine auch nur halbwegs befriedigende Wetterprognose hervorzubringen. Manch fruchtbarer Gedanke konnte bei solcher Sachlage nur in engem Kreise auch wirklich fruchtbringend wirken; dahin gehören George Hadleys Erklärung der Passate und Kants wenigstens teilweise zutreffende Deutung der Eigenart der als Monsune bekannten regelmäßigen Halbjahrwinde des Indischen Ozeans. Erst ziemlich später gewahren wir einen prinzipiellen Fortschritt, der allerdings unmittelbar nur der Klimatologie zugute kam, weiterhin aber doch auch einen engeren Anschluß der Lehre von Wind und Wetter an die mechanische Physik, zu der sie recht eigentlich gehört, möglich machte. Gemeint ist des Kurfürsten Karl Theodor Schöpfung, die im Jahre 1780 entstandene „Societas Meteorologica Palatina", deren Leiter, der Abt J. Hemmer (1733—1790), die wahren Bedürfnisse der einstweilen auf Irrwegen dahinwandelnden Meteorologie mit seltener Klarheit erfaßt hatte. Indem von der Zentralstelle Mannheim aus viele Stationen auf ein übereinstimmendes Beobachtungssystem verpflichtet und mit vergleichbaren Instrumenten zur Verzeichnung des Luftdruckes, der Temperatur, der Feuchtigkeits- und Windverhältnisse ausgerüstet wurden, durfte man auf die Gewinnung brauchbarer Daten hoffen, durch welche einerseits die

sich gleichenden Züge in der meteorologischen Physiognomie eines bestimmten Ortes festgestellt, andererseits auch die Gesetze des Luftaustausches ausfindig gemacht werden konnten. Die Stürme der Kriegsjahre von 1796 ab war zwar das Mannheimer Institut nicht zu überdauern imstande, aber der Geist, in welchem es geschaffen war, verschwand nicht mehr aus der Welt, und wir werden uns überzeugen, daß und wie die von Hemmer gesäeten Keime bei späterer Gelegenheit doch noch aufgingen und Frucht trugen. Der kurbayerischen Akademie der Wissenschaften muß das Lob zuerkannt werden, die Erbschaft ihrer pfälzischen Schwester angetreten und mit dem überkommenen Pfunde gewuchert zu haben.

Erst allmählich, obgleich doch schon des Varenius einzig dastehende „Geographia generalis" von 1650 hiefür das beste Vorbild gegeben hatte, gewöhnte man sich daran, die Meteorologie, deren vermeintliche Abhängigkeit von Planeten- und Mondstellungen ihr einen Platz neben der Astronomie anzuweisen schien, auch als einen selbständigen Teil der physischen Erdkunde gelten zu lassen. Dieser Wissenszweig durfte mit besonderer Genugthuung auf ein Jahrhundert zurückblicken, welches man zwar gewöhnlich als das „historische" bezeichnet, welches aber mit gleichem Rechte auch dasjenige der reifenden Naturerkenntnis heißen könnte. Die Lehr- und Handbücher eines Struyck, Lulofs (verdeutscht von Kaestner), Bergman (verdeutscht von Roehl), Kant und E. Bode (1747—1826) bekunden ein anerkennenswertes Ringen mit unermeßlichem Stoffe, um zu systematischer Ordnung und Gestaltung durchzudringen, und auch die Einzelprobleme werden mannigfach gefördert. N. Maskelyne (1732—1811) und Charles Hutton (1737—1828) zeigen Mittel und Wege auf, Masse und Dichte des seit den Gradmessungsexpeditionen von 1735 als Sphäroid erkannten Erdkörpers zu ermitteln; Franklin und Lichtenberg erörtern an der Hand der Rechnung die Möglichkeit, daß der Erdball teilweise von gasförmigen Stoffen erfüllt sei; Euler sucht die Gesetzmäßigkeit der erdmagnetischen Erscheinungen als Folge des Vorhandenseins von Magnetstäben im Erdinneren nachzuweisen; das Polarlicht wird empirisch erforscht, und eine Fülle von Erklärungsversuchen geht darauf aus, dieses Licht entweder auf optischem Wege

oder durch Anwendung der im Augenblicke neuesten Errungenschaften der Elektrizitätslehre kausal zu begreifen. Schon hat auch Cooks dreimalige Umkreisung der Erde, die zum ersten Male Menschen bewußt über den südlichen Polarkreis hinausführte, mit der Thatsache bekannt gemacht, daß nicht nur ein Nordlicht, sondern auch sein antarktisches Analogon, ein Südlicht, existiere. An den Ufern des Genfer Sees bildet sich, schon seit dem Ende des 17. Jahrhunderts, eine förmliche limnologische Schule heraus, deren Mitglieder zumal auf die eigentümlichen periodischen Spiegelschwankungen ihr Augenmerk richten, und die Flußkunde erfährt eine durchgreifende Förderung seitens der italienischen Hydrotechniker, welche, großenteils unter dem Einflusse der zwingenden Bedürfnisse ihres Vaterlandes, mit zum Teile neu erfundenen Instrumenten den Bewegungsgesetzen des strömenden Wassers auf die Spur zu kommen suchen. Nicht minder entsteht nach und nach eine exakte Ozeanographie. S. P. Rigaud (1774—1839) bestimmt mittels der Wage und genauer Karten das Arealverhältnis des flüssigen und festen Elementes auf der Erdoberfläche; schärfere Lotungen setzen den Forscher in den Stand, sich ein richtigeres Bild von der Oberflächenform des Meeresgrundes zu machen; Gezeiten und Meeresströmungen treten in das Stadium der wissenschaftlichen Erforschung ein. Noch um die Mitte des Jahrhunderts hatte die Pariser Akademie einen Teilpreis an den Cartesianer Cavalleri verliehen, der Ebbe und Flut auf den Druck der den Weltraum erfüllenden Ätherwirbel zurückzuführen gedachte; jetzt, am Schlusse, begründete Laplace in seiner „Himmelsmechanik“ die dynamische Theorie der großen ozeanischen Wellenbewegung in einer so mustergiltigen Weise, daß die Folgezeit an der grundlegenden Anschauung nichts Durchgreifendes mehr zu ändern fand. Den Golfstrom beschrieb Franklin mit scharfsinniger Ausnützung der von den Schiffern eingelieferten Berichte, und während schon viel früher des Grafen Marsigli am Bosporus gesammelte Erfahrungen die Verschiedenheit der Dichte benachbarter Meere als Ursache der in der Verbindungsstraße hin und her gehenden Doppelströmung nahe gelegt hatten, deckte der große amerikanische Empiriker in der Windwirkung den wesentlichen Grund der die

Weltmeere durchfurchenden Strömungen auf. Auch die terrestrische Physik des Festlandes nahm eine ganz andere Richtung, seitdem man die Gebirge, vor deren Ersteigung man noch vor kurzem scheu zurückgeschreckt war, nicht mehr mied, sondern in ihnen ein besonders anregendes und verheißungsvolles Objekt der Forschung erkannt hatte. Der Züricher J. J. Scheuchzer (1672—1733) hatte sich um die Schaffung einer alpinen Physik bemüht, und was bei ihm noch sehr das Gepräge eines ersten Anfanges trug, war von dem Genfer H. B. de Saussure (1740—1799), einem ebenso fleißigen und zielbewußten, aber zugleich unverhältnismäßig genialer veranlagten Manne, in eine auch sehr hohen Anforderungen genügende Form gebracht worden. Eine besondere Gletscherlehre konnte auch nur auf schweizerischem Boden erwachsen, wo außer den Genannten Altmann und Gruner ihr Interesse für die Eisströme des heimischen Hochgebirges durch selbständige Werke darüber zum Ausdrucke brachten.

Eine scharfe Trennung zwischen Geophysik und Geologie gab es noch nicht und konnte es nicht geben, da ja selbst noch in unseren Tagen eine den etwaigen Gegensatz beider präzis umschreibende Begriffsbestimmung nicht geglückt ist. Als „Theorie der Erde" bezeichnete man durchweg die im 18. Jahrhundert nur allzu sehr sich häufenden Versuche, die Entwicklung unseres Planeten aus seinem Urzustande heraus bis in die Gegenwart unter einheitlichen Gesichtspunkten darzustellen. Lichtenberg hat in seiner regelmäßigen Göttinger Universitätsvorlesung nicht weniger denn sechzig solcher Systeme teils bloß angeführt, teils einer Prüfung unterzogen. Durchweg befehdeten sich Neptunisten und Plutonisten, und in der Regel stellte sich jede der beiden Richtungen auf den extremsten Standpunkt, ohne zu bedenken, daß der Natur zur Erzielung ihrer Effekte mehr Mittel zu Gebote stehen, als einseitiger Menschensinn häufig ahnt. De Maillet dachte sich den Erdkörper einem allmählich eintretenden Tode durch Verschwinden aller der Erde angehörigen Wassermassen entgegenstrebend; Moro hinwiederum erkannte keine Gebirgsbildung an, die nicht in der Hebekraft des unterirdischen Feuers ihren letzten Grund hatte. Gegen das Ende des Jahrhunderts schien der Sieg des Wassers

entschieden, denn in dem sächsischen Bergwerkskundigen A. G. Werner (1750—1817), dessen Name die neue Montanakademie zu Freiberg in raschen Flor brachte, war der Sache Neptuns ein mächtiger Kämpe entstanden, der die Abscheidung des ganzen Bodenreliefs aus dem dereinst überall flutenden Meere als eine unzweifelhafte Thatsache erwiesen zu haben schien. Die vulkanischen Erscheinungen behandelte er mit souveräner Nichtachtung, ohne daß die auf Autopsie beruhenden Gegenerklärungen eines Lord Hamilton, Breislak, Dolomieu, Ferber, v. Dietrich dagegen aufkommen konnten. Alles übrige fügte sich willig dem Wernerschen Gedankenkreise ein. Die eben erst aus bloßem Spielen mit Naturseltenheiten zu selbständiger Bedeutung gelangte Versteinerungskunde, in welcher der Deutschböhme J. v. Born (1742—1791) den entscheidenden Faktor für eine exakte geologische Schichtungslehre erkannte, sprach für eine ehemalige Wasserbedeckung der Erdoberfläche. Die von den schwedischen Gelehrten aufmerksam verfolgte Grenzverschiebung des Meeres und Festlandes mochte einen selbst in der Gegenwart noch nachwirkenden Beleg für den langsamen Rückgang des Wassers liefern. Endlich war auch die thalbildende Aktion des fließenden Wassers von Rimrod und L. Heim mit glücklicher Inspiration erfaßt worden, so daß der Wirkungskreis der plutonischen Kräfte immer mehr in sich selbst zusammenschwand. Im Jahre 1800 konnte, wenigstens auf dem den Ideen Werners am meisten unterworfenen deutschen Boden, der endgiltige Sieg der Neptunisten kaum noch angezweifelt werden.

Wir schließen damit unseren Rundgang durch die einzelnen anorganischen Naturwissenschaften im Aufklärungszeitalter ab. Allüberall durften wir von regen Fortschritten, von rührigem Vorwärtsstreben, von einer wahren Flut neuer, hie und da vielleicht noch etwas unreifer Ideen Kenntnis nehmen. Der revolutionäre Geist, welcher soeben eine neue Ära im staatlichen und bürgerlichen Leben zeitigte, übertrug sich auch auf die Wissenschaft, und unerbittliche Kritik des Bestehenden war auf allen Gebieten zur unabweislichen, zur obersten Pflicht geworden. Wem nur diese Vorbereitungszeit gegenwärtig ist, der muß zu dem Glauben kommen, daß es auch im neuen Jahrhundert ein gleich reges, ja unaufhalt=

sames Vorwärtsschreiten zu beobachten geben werde. Und doch trifft diese scheinbar selbstverständliche Annahme nicht zu, am wenigsten in Deutschland. Gerade hier macht sich ein starker, ein ganz eigenartiger Rückschlag geltend, den nur verstehen kann, wer die innigen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Seiten des geistigen Lebens der Menschen stetig im Auge behält. Seit Leibniz und Christian Wolf haben Philosophie und Naturwissenschaft sich aufs beste vertragen; sie befruchteten sich wechselseitig, und gar nicht selten finden wir, daß ein bahnbrechender Geist nach beiden Richtungen hin ersprießlich und fördernd wirkte Kant ist wohl der glänzendste Vertreter der inneren Berechtigung solcher Doppelthätigkeit. Jetzt aber erheben sich plötzlich Zweifel an der Autonomie der Naturwissenschaft; die Empirie soll in eine dienende Stellung zurückversetzt werden, und das reine Denken beginnt Anspruch darauf zu machen, nicht bloß formale, sondern auch rein sachliche Fragen aus eigener Kraft zur Entscheidung bringen zu können.

Zweites Kapitel.

Das Interregnum der Naturphilosophie.

Im Jahre 1800 veröffentlichte ein junger Dozent in Jena, G. W. F. Hegel (1770—1831), eine Dissertation, in welcher er sich anheischig machte, den Grund für die dem Anscheine nach vorhandene Lücke zwischen den Planeten Mars und Jupiter in unserem Sonnensysteme zu ermitteln. Zwei deutsche Astronomen, Titius und Bode, hatten auf eine gewisse Gesetzmäßigkeit hingewiesen, welche die Entfernungen der einzelnen Wandelsterne vom Zentralkörper regle; jenes Reihenglied nun, welches auf das dem Mars entsprechende folgte, war zwar arithmetisch vorhanden, aber ihm fehlte das natürliche Gegenstück am Himmel. Da Jupiter ein sehr massenkräftiger Planet ist, so glaubte Hegel dieser Präponderanz den fraglichen Zwischenraum zur Last legen zu können. Zu seinem Nachteile hatte aber jene Schrift die Presse kaum verlassen, als die Nachricht durch die freudig bewegte Gelehrtenwelt ging, der unbekannte, seit Kepler vermißte Planet sei thatsächlich aufgefunden worden. Damit hatte sich also die Erfahrung der Spekulation überlegen gezeigt. Als dem Landesherrn, dem in Naturwissenschaften sehr wohl beschlagenen Großherzoge Karl August, ein Exemplar der Hegelschen Schrift vorgelegt ward, versah er es, wie behauptet wird, mit einem handschriftlichen Vermerke, der für den Autor und für die von ihm befolgte Methode nicht eben schmeichelhaft lautete.

Naturphilosophie und Naturphilosophen hat es von allem Anfang an gegeben. Die Jonier, die Pythagoräer, die Eleaten erprobten ihren Scharfsinn an den zahllosen Rätseln, welche jeder Blick in die umgebende Welt dem Menschen vorlegt, und der größte Systematiker des Altertums, Aristoteles, muß, wie seine „Physik“ und sein Werk „Vom Himmel“ beweisen, ebenfalls dieser Kategorie zugerechnet werden. Wesentlich philosophisch gehalten sind auch die durchaus nicht sämtlich schwächlichen, sondern gelegentlich von eindringendem Scharfsinn zeugenden kosmologischen Erklärungsversuche des arabischen und christlichen Scholastizismus. Niemals aber tritt das empirische Element völlig zurück; selbst ein Thomas Aquinas, um nicht von den noch umfassenderen Denkern, einem Maimonides und Albertus Magnus, zu sprechen, zieht Erfahrungsbelege bei, so oft die mangelhaft ausgebildete Beobachtungs- und Experimentalwissenschaft seiner Zeit es ihm erlaubt. Anders gingen die deutschen Naturphilosophen zuwerke, als deren bekannteste und thatkräftigste Repräsentanten F. W. J. Schelling (1775 — 1854) und Hegel dastehen. Auch J. G. Fichte (1762 — 1814) weist, obwohl seine eigentliche Bedeutung auf dem ethischen und religionsphilosophischen Felde liegt, mannigfache Beziehungen zu den beiden Württembergern auf, denen, so abgrundtief der Unterschied zwischen der von ihnen gepflegten und der uns geläufigen Denkweise auch sein mag, doch gleichwohl ein geradezu unermeßlicher Einfluß auf das Geistesleben ihrer Zeitgenossen nicht abgesprochen werden kann. Ohne jede Übertreibung darf gesagt werden, daß die deutschen Universitäten ein paar Jahrzehnte lang ganz in Schelling-Hegelschen Gedankenkreisen sich bewegten, und daß auch auf die Naturwissenschaften eine tiefgehende Einwirkung geübt wurde, die freilich der objektive Historiker nicht als segensreich wird gelten lassen können.

Die ganze Natur ist, das war schon Fichtes Grundgedanke, aus dem Ich heraus abzuleiten; damit war zugleich ausgesprochen, daß folgerichtiges Denken auch in naturwissenschaftlicher Beziehung zu keinem falschen Ergebnis führen könne. Schellings „Ideen zu einer Philosophie der Natur“ (Jena 1797) gehen davon aus,

daß der Begriff der Materie nicht etwas an sich, außerhalb des Menschen Bestehendes, sondern etwas aus der Anschauung des menschlichen Geistes Abstrahiertes sei. Die Materie ist nur das Produkt polarer, sich gegenseitig bekämpfender Kräfte; diese sind von Anfang an gegeben, immaterielle Agentien, deren Wirkung die Körperwelt — wie? das wird nicht angegeben — zustande bringt. So ist die Natur ein Spiegelbild des menschlichen Geistes, und was von diesem als wahr erkannt wird, hat den vollen Wert eines Naturgesetzes. Ebenso wie der Geist eine Einheit darstellt, so kann es auch nicht eine Vielheit von Erklärungsprinzipien für die Geschehnisse in der Körperwelt geben, und zwischen Wärme, Elektrizität und Magnetismus besteht in letzter Instanz kein eigentlicher Gegensatz, sondern alle diese Agentien sind nur verschiedene Erscheinungsformen der nämlichen obersten Urkraft. Den modernen Naturforscher, der in den Grundsätzen der Energielehre herangebildet ist, mutet diese Schellingsche Schlußfolgerung durchaus nicht unangenehm an, aber er weiß auch sehr wohl, daß mit einer rein gedanklichen Deduktion dieser Wahrheit, welche unsere Zeit erfahrungsmäßig zu begründen gelernt hat, noch nicht viel erreicht ist. Im Anschlusse an einen geistvollen Philosophen des 16. Jahrhunderts, der immerhin seiner Zeit in manchen Punkten weit vorangeeilt war, seinem ganzen Naturell nach aber doch mehr als Irrlicht denn als echte Leuchte auf dem Wege zur Erkenntnis anzusehen ist, im Anschlusse an Giordano Bruno stellte Schelling das Eindringen in eine immanente Weltseele als gemeinsames Ziel der Naturforschung und Philosophie hin; „die beiden streitenden Kräfte, zusammengefaßt oder im Konflikt vorgestellt, führen auf die Idee eines organisierenden, die Welt zum Systeme bildenden Prinzips, einer Weltseele." Daß bei so großartigem, auf die höchsten Dinge gerichteten Streben für die naturwissenschaftliche Detailarbeit nicht viel übrig bleiben konnte, liegt auf der Hand.

In diesem Sinne hielt Schelling seine vielbesuchten Universitätsvorlesungen, über die uns sein gedrucktes Kollegienheft („Erster Entwurf eines Systems der Naturphilosophie," Jena-Leipzig 1799) in willkommener Weise orientiert. Als springenden Punkt glauben wir die Erörterung über die „dynamische Stufen-

folge" bezeichnen zu sollen, welche nach des Verfassers Ansicht gleichmäßig die organische und anorganische Natur beherrscht, nur in beiden Reihen auch in verschiedener Erscheinungsform sich offenbarend. Was im ersteren Falle Bildungstrieb, Irritabilität und Sensibilität heißt, tritt uns im zweiten als chemischer, elektrischer und magnetischer Prozeß entgegen. Um möglichst konkret eine Thatsache aus den verschlungenen Gedankenpfaden des Philosophen herauszulösen, bleiben wir bei seiner Erklärung der chemischen Vorgänge ein wenig stehen. Die Ursache, daß es überhaupt dergleichen giebt, ist die Intussuszeption, und zwar die absolute, d. h. „Übergang zweier heterogener Körper in eine identische Raumerfüllung". Mechanisch kann Intussuszeption nicht vor sich gehen, zwei Materien können sich nicht durchdringen, ohne eine einzige Materie zu werden, und es wird also durch den chemischen Prozeß die Materie in den Zustand des ursprünglichen Werdens zurückversetzt. Intussuszeption homogener Körper ist niemals Chemismus. „Heterogeneität ist Quell der Thätigkeit und der Bewegung", und die Ursache des „allgemeinen" Magnetismus ist gleichzeitig die „Ursache der allgemeinen Heterogeneität in der Homogeneität und der Homogeneität in der Heterogeneität".

Man hat solche Kraftsprüche, wie sie bei Schelling häufig genug vorkommen, sinnlos genannt und die ganze Naturphilosophie als ein Aggregat hochtrabender, des reellen Inhaltes aber entbehrender und beweisloser Lehrsätze stigmatisiert. Das ist zu weit gegangen; wäre dem so, dann wäre auch der ganze Geisteszustand jener Epoche unverständlich, von dem wir doch anderweit zur Genüge wissen, daß er kein verächtlicher war. Wie aber vermochte insbesondere die gebildete Jugend mit wahrem, ungeschminktem Enthusiasmus Lehren zu bewundern, die doch auch ihr selbst dunkel, teilweise sogar mystisch vorkommen mußten? Es hieße denn auch in der That sich gegen den geschichtlichen Geist versündigen, wenn man die spinösen, oft in recht geschraubtem Deutsch vorgetragenen Sätze Schellings verächtlich als Unsinn beiseite thun wollte. Um zu ihnen zu gelangen, war ohne allen Zweifel ein sehr stattliches Aufgebot geistiger Arbeit erforderlich. Aber an einem Grundfehler krankte die ganze Auf-

fassung, und dieser bestand darin, daß man eine möglichst gelehrt eingekleidete Paraphrase der natürlichen Erscheinungen mit einer Naturerklärung verwechselte. Gewiß, auch vielen Forschern der neuesten Zeit schwebt als ein ebenso bescheidenes wie hohes Ideal das vor, die einzelnen Prozesse möglichst genau zu beschreiben, aber die Naturphilosophen begnügten sich mit einer wortreichen Umschreibung, durch welche gewöhnlich gar kein tieferer Einblick in den Sachverhalt erzielt ward.

Schelling jedenfalls hielt sich überzeugt, auf dem richtigen Wege zu sein, und sein an Jahren älterer, an äußeren Erfolgen aber vorläufig noch ärmerer Genosse Hegel schloß sich ihm damals noch mit vollem Vertrauen an. Auf Schellingsche und Fichtesche Anregungen war ja die schon erwähnte, zu recht unglücklicher Zeit ans Licht getretene Habilitationsschrift zurückzuführen. Schelling begründete, mit Hegels Unterstützung, die „Neue Zeitschrift für spekulative Physik", von der jedoch nur ein einziger, aus drei Heften bestehender Band bei Cotta in Tübingen (1802) erschien. Man glaubte für die Naturphilosophie die Zeit gekommen, über die systematische Grundlegung hinauszugehen und die Leistungsfähigkeit des neuen Verfahrens, die Natur zu erforschen, auch an konkreten Aufgaben zu erproben. Die geistigen Kosten des Unternehmens bestritt hauptsächlich der Herausgeber selbst. Er suchte in der einführenden Abhandlung den Begriff des Absoluten festzulegen, suchte Beziehungen der Planetenreihe mit einer neuen Klassifikation der Metalle auf und gab sich der Hoffnung hin, den wahren philosophischen Sinn der Keplerschen Gesetze aufgedeckt zu haben. Die Kohäsion ist jene Kraft, welche sowohl den Rang der Metalle als auch die Stellung eines Weltkörpers im solaren Systeme bestimmt. Wir geben eine die Methode trefflich kennzeichnende These wörtlich wieder. Schelling ersieht ein allgemeines Gesetz darin, „daß nicht nur die Anzahl der Monde, sondern auch die Nähe, in der sie unter sich und mit den Hauptplaneten sich befinden, in dem Verhältnis zunimmt, in welchem die in ihrer größten Energie stehende aktive oder absolute Kohäsion sich zur relativen neigt". Die sogenannten vier edlen Metalle, Gold, Silber, Platin und Quecksilber beschäftigen den Herausgeber in

einem Schlußartikel. Zeichnet man einen Horizontalkreis mit seinen vier Kardinalpunkten Nord, Ost, Süd und West, identifiziert den Begriff des Eisens mit dem der Nordsüdlinie, den Begriff des Wassers mit dem der Ostwestlinie und ordnet nun beziehungsweise die vier Quadranten NO, OS, SW und WN den genannten vier Metallen in der Reihenfolge Silber, Platin, Gold, Quecksilber zu, so hat man ein Schema gewonnen, aus dessen Diskussion die wertvollsten Daten für das gegenseitige Verhalten dieser Grundstoffe erhalten werden sollen. Von anderen Gelehrten sah sich Schelling in seinem Vorhaben nur wenig gefördert, und diese mangelhafte Beihilfe ließ ihn wohl auch nach Jahresfrist auf die Weiterführung seines Organes verzichten. Einen sehr merkwürdigen Beitrag lieferte K. J. Windischmann (1775—1839), der unter anderen auch die Frage erörterte, wie es doch komme, daß von den Naturwissenschaften die Astronomie so sehr viel weiter als jede andere fortgeschritten sei. Ein ebensowenig in weiteren Kreisen bekannt gewordener Mitarbeiter, J. N. Moeller, versuchte sich an einer Theorie der Reibung, die er mit Recht als ein Mittel zur Erzeugung von Wärme charakterisierte. Diese letztere erklärte er natürlich auch naturphilosophisch, aber doch wenigstens ohne Zuhilfenahme des sonst noch allgemein gebräuchlichen Wärmestoffes. Von allen Aufsätzen des Bandes mag der Moellersche einem Physiker der Gegenwart wohl als der am wenigsten sonderbare, als der mit dem geringsten Aufgebote von Selbstüberwindung zu lesende erscheinen.

Die Abneigung gegen die „zünftige“ Naturlehre, die Verachtung des im reinen Äther der Gedankenwelt lebenden Philosophen gegen den armseligen, mit Retorte und Wage sich abmühenden Empiriker tritt an vielen Stellen des Bändchens hervor, ab und zu in fast possenhafter Weise. Wir rechnen hierher eine Stelle bei Windischmann: „Will irgend ein Individuum durchaus Naturforscher sein, ohne jedoch die Gabe des Geistes der Physik zu haben, so mag er physische Hilfsmittel und unter denselben auch chemische Versuche anstellen, muß sich aber bescheiden, ein bloßer Handlanger der Physik zu sein, und ist in dieser seiner Bescheidenheit als ein ganz verdienstvoller Mann anzusehen.“ Man sieht, der Naturphilosoph fühlt sich als König, der bauen läßt und dem Kärrner

zu thun giebt. Noch kräftiger geht Schelling selber ins Zeug, indem er das „Benehmen des Obskurantismus gegen die Naturphilosophie“ gegeißelt; daß unter einem Obskuranten ein Naturforscher älterer Ordnung verstanden sein soll, bedarf kaum der Erinnerung. Man kann diesen armen Schächern ihre Abneigung gegen „die neue Erkenntnisart“ kaum verübeln, denn ihre geistigen Flügel tragen sie eben nicht so hoch empor. Aber daß sie es auch wagen, aus ihrem Staube heraus Angriffe gegen das zu richten, was für sie transszendent bleiben muß, wird als unerträgliche Anmaßung empfunden. Zumal auf die Mathematiker ist Schelling übel zu sprechen, und in seiner Antikritik gegen einen ungenannten Vertreter dieses Faches — wir halten dafür, daß Klügel, einer der klarsten Köpfe jener Zeit, gemeint ist — läßt er sogar sehr den guten Ton vermissen. Grob genug konnte der große Naturphilosoph sein.

Doch ist es angezeigt, nunmehr auch derjenigen zu gedenken, welche er als seine Mitstreiter noch weiter betrachten durfte. Außer Hegel, dem unter allen Umständen ein besonderer Platz anzuweisen ist, haben wir da besonders H. Steffens (1773—1845), Th. F. C. Nees v. Esenbeck (1776—1858) und L. Oken (1779 bis 1851) namhaft zu machen. Keiner von den dreien ist aus dem philosophischen Lager direkt hervorgegangen, vielmehr war seinem Hauptberufe nach Steffens Mineraloge und Geologe, Nees v. Esenbeck Botaniker, Oken Zoologe. Sämtlich aber ließen sie sich, obwohl jeder von ihnen in seinem engeren Wirkungskreise ganz achtbare Leistungen hervorgebracht hatte, von der naturphilosophischen Sturmflut mit fortreißen und gaben sich die redlichste Mühe, ihre Forschungsresultate wenigstens mit der vom Zeitgeiste geforderten Verbrämung zu versehen. Zumal Steffens, geborener Norweger, aber als Breslauer und Berliner Professor, sowie als Mitkämpfer der großen Freiheitskriege ganz in deutschem Wesen aufgegangen, stellte der in den zwanziger Jahren des neuen Jahrhunderts mit Kraft einsetzenden Reaktion den zähesten Widerstand entgegen, obwohl seine zwanglos erschienenen Hefte („Polemische Blätter zur Beförderung der spekulativen Physik“, Breslau 1829—1835) damals schon nicht mehr zeitgemäß waren. Oken vermißte in den

Programmschriften des Meisters das pädagogische Element, für welches ja auch Schellings großartige Natur zu wenig Sinn hatte, und gab sich mit echtem Professoreneifer daran, durch ein dreibändiges Werk („Lehrbuch der Naturphilosophie", Jena 1808—1811) diesem Mangel abzuhelfen. Dieses Lehrbuch entsprach einem Bedürfnis und hat sogar eine zweite Auflage (1831) erlebt, die freilich dem Niedergange, der nun bald ein unaufhaltsamer wurde, nicht mehr steuern konnte.

Schelling ist, wie wir ja bei den meisten Philosophen eine stete Wandelung der Anschauungen wahrnehmen, dem von ihm in den ersten Jahren des neuen Säkulums in Wort und Schrift vertretenen Standpunkte nicht immer treu geblieben, ohne natürlich mit den Leitmotiven seines ganzen Thuns, die nur die verschiedensten Formen annahmen, offen gebrochen zu haben. Je älter er ward, um so mehr steigerte sich seine Neigung zum Übersinnlichen, um so entschiedener drängte sich in ihm das religionsphilosophische Interesse vor. Die Spekulation zog sich hinter die — ihr freilich nahe verwandte — Kontemplation zurück. Indem Schelling die Fäden spinnt, welche von ihm zu den neuplatonischen Gnostikern und zu Jakob Boehme hinüberleiten, entschwindet er dem Auge des Historikers der Naturwissenschaften.

Anders Hegel. Eine ungleich konsequentere und zähere Persönlichkeit, hat er bis zu seinem Tode, der freilich auch bereits im 61. Lebensjahre erfolgte, an seinem System, ohne Änderung der Prinzipien, gearbeitet und auch der Naturphilosophie diejenige Einkleidung verliehen, in der sie noch am ersten den Kampf mit den immer mehr zur früheren Macht zurückkehrenden Gegnern aufzunehmen in der Lage war. Das Absolute war bei Schelling allen Klärungsbestrebungen zum Trotze ein unfaßbarer Begriff geblieben; indem Hegel, der bald über seinen Meister und Kollegen hinauswuchs, jeden Unterschied zwischen dem Absoluten und der Idee aufhob, schuf er eine neue, rigoros rationalistische Weltanschauung, in welcher auch die Natur samt den ihr Getriebe regelnden Gesetzen ihre feste Stelle angewiesen erhielt. Ungleich mehr als jener zum Systematiker angelegt, überraschte er die Deutschen durch seine von strengster Geschlossenheit des Denkens

Zeugnis ablegende „Encyklopädie der philosophischen Wissenschaften“ (Heidelberg 1817). Was die Natur anlangt, so ist sie gewissermaßen als latente oder versteckte Intelligenz zu denken, und dem Philosophen liegt es ob, diesen seiner wahren Beschaffenheit entfremdeten Geist wiederzugewinnen. Die Materie wieder stellt sich dar als das Außersichsein der Natur in seiner allgemeinsten Form. Mechanik, Physik und Organik sind die drei Wissenszweige, welche den proteusartigen Veränderungen der Materie nachzugehen und deren Verkettung mit dem höchsten Naturgebilde, dem Menschen, klarzustellen haben.

Die sogenannten Hegelianer, welche, bald unter sich wieder vielfach zersplittert, den von ihrem großen Lehrer geknüpften Faden fortspannen, bekundeten größtenteils keinen rechten Sinn mehr für die Naturphilosophie. Rosenkranz, Gans, Michelet, A. Ruge und wie die in einer Geschichte der deutschen Geistesströmungen mit Ehren zu nennenden Diadochen heißen mögen, haben die reine Logik, die Ästhetik, die Geschichte der Philosophie und vor allem die Anwendung der Philosophie auf Rechts- und Staatswissenschaften weitergebaut, aber der Naturwissenschaft standen sie gleichgiltig gegenüber. Mit Hegels Hintritt war der schöne Traum einer Wissenschaft von den natürlichen Dingen ohne entsagungsvolles Versenken in die Einzelheiten so gut wie ausgeträumt. Es hat noch nach ihm Naturphilosophen gegeben, und es giebt deren heute noch, aber die ernste Wissenschaft ist nicht mehr darauf angewiesen, sich um sie zu kümmern. Mit dem ihn auszeichnenden, scharf pointierten Humor hat A. v. Humboldt den Stand der Dinge gezeichnet, wie er sich um jene Zeit einem Wissenden darstellte. Als ihn 1827 der Wunsch seines Königs veranlaßte, den lieb gewordenen Pariser Aufenthalt mit demjenigen in seiner Vaterstadt zu vertauschen, bereiteten ihm die Bewillkommnungsartikel der Berliner Zeitungen einigen Ärger; denn diese rühmten von ihm, daß er nicht bloß in der gewöhnlichen Naturforschung einige Leistungen aufzuweisen, sondern auch das größere Verdienst habe, mit Schelling und Hegel zu den Höhen naturphilosophischen Erkennens aufgestiegen zu sein, ohne daß ihm dabei, wie dem gewöhnlichen Empiriker, „der geistige Atem versetzt wurde“.

Schon gereizt, mußte Humboldt auch noch erleben, daß A. W. v. Schlegel in Berlin einen Zyklus von Vorträgen hielt, in denen er u. a. den Physikern vorhalten zu dürfen glaubte, es sei ihnen über dem Jagen „nach dem Endlichen und Einzigen" der Gedanke der Natur überhaupt abhanden gekommen. So griff er zur Abwehr und warf den Naturphilosophen in seinen eigenen Vorlesungen, aus denen nachmals der „Kosmos" hervorging, den Fehdehandschuh hin. Ohne bestimmte Namen anzuführen, beklagte er es, daß eine „Naturphilosophie ohne Kenntnis und Erfahrungen" die nach Wahrheit dürstende Menschheit auf Abwege führe. Sarkastisch sprach er von den „heiteren und kurzen Saturnalien eines rein ideellen Naturwissens", dem zuliebe die edelsten Kräfte nutzlos aufgeopfert würden. Hegel hat diesen unverhüllten Hohn schwer empfunden.

Die Mehrzahl der deutschen Gelehrten ist von der naturphilosophischen Hochflut unberührt geblieben; teilweise wohl deshalb, weil die Naturwissenschaften, wenige Koryphäen ausgenommen, überhaupt ein ziemlich gedrücktes Leben im damaligen Deutschland führten. Insbesondere die Physiker und Chemiker gingen zwar nicht auf die Sirenenklänge ein, die ihnen aus den Reihen der Schellingianer und Hegelianer entgegentönten, aber ihre stille Arbeit war auch zumeist nicht hinlänglich wertvoll, um ihre Bundesgenossenschaft zu einer gesuchten zu machen. Indessen hat es auch Ausnahmen gegeben, und da gewährt es denn einigen Reiz, zu sehen, wie sich in einzelnen Köpfen die Liebe zur exakten Forschung mit der Hinneigung zur Tagesmode, der Naturphilosophie, zu vereinbaren wußte. Es mag deswegen gestattet sein, an einem besonders augenfälligen Beispiele nachzuweisen, wie sich die beiden Extreme gelegentlich berührten.

Die bayerische Akademie der Wissenschaften hatte, seit mit der Thronbesteigung Maximilians I. ein freierer Geist im Lande seinen Einzug gehalten hatte, durch die Berufung nichtbayerischer Gelehrter zumal den experimentellen Disziplinen neue Kräfte zu sichern gesucht. Der Pommer A. F. Gehlen (1775—1815) und der Schlesier J. W. Ritter (1776—1810) leisteten den an sie ergangenen Berufungen Folge, wurden aber aus ihren Stellungen

nur zu bald wieder vom Tode abgerufen; Ritter infolge allzu angestrengter Arbeit, der sein schwächlicher Körper nicht gewachsen war, während Gehlen sich bei der Darstellung von Arsenwasserstoffgas vergiftete. Beide aber haben redlich gewirkt, und namentlich wird J. W. Ritter in der Geschichte des Galvanismus und der physikalischen Chemie immer mit Ehren genannt werden. Zahlreiche Versuche von ihm über die Erregung galvanischer Ströme unter Verwendung der verschiedensten Metalle und Flüssigkeiten haben der heutigen Anschauung vorgearbeitet, daß wesentlich chemische Kontaktwirkungen bei der Erzeugung galvanischer Kräfte eine Rolle spielen. Sogar die Wasserzersetzung war ihm gelungen, aber das wahre Wesen dieser seiner Entdeckung blieb ihm verborgen, weil er an die Zerlegbarkeit eines Elementes — und ein solches war den Neuaristotelikern noch immer das Wasser — gar nicht glauben konnte. Auch eine Trockensäule hat er schon vor G. Zamboni (1776—1846) konstruiert, und nicht minder begegnen wir bei ihm der ersten Andeutung des Polarisationsstromes. Allein dem geschickten und im Laboratorium von kluger Überlegung geleiteten Experimentator war es nicht vergönnt, aus seinen oft überraschenden Wahrnehmungen hinterher am Schreibtische die richtigen Schlüsse zu ziehen, und naturphilosophische Voreingenommenheit verdarb ihm immer wieder das Konzept. In seinen zahlreichen Abhandlungen tritt dieses störende Moment allerdings nicht so stark hervor, aber um so entschiedener macht es sich geltend in den selbständigen Schriften, deren ziemlich viele aus seiner Feder geflossen sind. Es dürfte sich verlohnen, auf einige derselben mit ein paar Worten einzugehen; rein wissenschaftlich von ungleich geringerem Werte als die kleineren Sachen, sind sie es gerade, denen ein ungewöhnliches zeitgeschichtliches Interesse innewohnt.

Die ideale Denkweise des Mannes lernt man vielleicht am besten durch eine akademische Festrede kennen, welche er im Jahre 1806 über die „Physik als Kunst“ hielt. Nicht ungerne folgt man seinen schwungvollen Darlegungen, die darauf ausgehen, „die Tendenz der Physik aus ihrer Geschichte zu deuten“; fragt sich aber auch, am Ende angelangt, mit einigem Staunen, wie es denn möglich war, mit so vielen und guten Worten schließlich so

gar wenig zu sagen. Dieses Spielen mit Redewendungen war ja auch ein Teil der schlimmen Mitgift, welche die Naturphilosophie in ihren Bund mit der wahren Naturlehre mitgebracht hatte. Weit schlimmer steht es schon mit dem „Siderismus“ (Tübingen 1808); denn dieser verhältnismäßig dicke Band liefert den erschreckenden Nachweis dafür, wie weit ein strebender Geist, Phantomen nachjagend, von dem wahren Wege abgedrängt werden konnte. Ein italienischer Bauer, Francesco Campetti, erregte seit 1806 in weitesten Kreisen Aufsehen durch seine angeblich ihm verliehene Gabe, verborgene Metalle durch das Gefühl zu erkennen und ans Tageslicht zu bringen. P. Thouvenel (1747—1815) bezeichnete diese Kunst, von der man dann auch bald ältere Proben aus der Litteratur beizubringen verstand, als unterirdische Elektrometrie; denn daß das elektrische Fluidum, dieser Helfer in der Not, dabei im Spiele sein mußte, verstand sich ganz von selbst. Kurz zuvor hatte der geistig klare, skeptisch veranlagte Lichtenberg in einer Auseinandersetzung mit S. Canterzani (1734—1810) den treffenden Satz niedergeschrieben: „Andere haben in der Elektrizität eine so allgemein wirkende Ursache gesehen, daß sie vorläufig schon im Besitze jeder Entdeckung sind, die man künftig von der Seite machen wird.“ So verhielt es sich auch im vorliegenden Falle. Ritter glaubte sich bald von der Wahrheit der über Campettis Geschicklichkeit umlaufenden Erzählungen versichert zu haben und machte nun seiner Akademie den Vorschlag, den Mann nach München kommen zu lassen, damit er unter den Augen der erleuchtetsten Richter — die königliche Staatsregierung wird diesen ausdrücklich beigezählt — seine Künste zeigen könne. Die Regierung des Ministers v. Montgelas war zwar sehr aufgeklärt und freisinnig, aber der Gedanke, einen berufsmäßigen Goldsucher zur Verfügung zu haben, mag ihr doch wohl einleuchtend vorgekommen sein; kurz, Ritter erhielt die Mittel, um nicht bloß selbst Campetti in seiner Heimat aufzusuchen, sondern auch einen Dolmetscher mitzunehmen. Die an Ort und Stelle vorgenommene Prüfung fiel überraschend günstig aus; der Wundermann fand die versteckten Metalle „nach der Folge ihrer Oxydabilität“. Campetti kam auch wirklich nach

München und wurde der Akademie vorgestellt als ein Mensch von außerordentlicher „Erregbarkeit“, die ihn befähige, alle möglichen „Elektrizitätserreger“ lediglich zufolge ihrer Wirkungen auf sein Nervensystem nachzuweisen. Wenn aber eine Kommission zur Untersuchung des merkwürdigen Falles niedergesetzt werde, so sei ihr zu empfehlen, das Medium — Ritter kennt diesen uns jetzt bequem gewordenen Namen für solche halbe Übermenschen noch nicht — „mit Freundlichkeit, Liebe und Auszeichnung zu behandeln“. Es wurde auch ein dreigliedriger Ausschuß gebildet, aber über den eigentlichen Ausfall des Examens erfährt man durch die wortreichen Erklärungen Ritters nichts Zuverlässiges. Schelling und der Theosoph F. v. Baader (1763—1835) waren anscheinend entzückt von dieser neuen Art, Physik zu treiben, aber einige kühlere Köpfe, wahrscheinlich unter der Führung S. Th. Sömmerings (1755—1830), mochten wohl keine Freude empfinden, wenn eine gelehrte Körperschaft von solchem Range sich vor der ganzen Welt kompromittierte. Wenigstens weisen die Schlußworte der Ritterschen Schrift, die sonst unerklärbar wären, auf einen solchen Ausgang hin. In etwas gekränktem Tone verleihen dieselben der Verwunderung darüber Ausdruck, daß die Prüfungskommission nicht mehr Eifer an den Tag gelegt habe. Es ist anzunehmen, daß man doch einiges Grauen vor Ritter und seinem Schützling Campetti empfand und sich nicht weiter in die Sache einlassen wollte.

Man kann auch nur mit tiefem Bedauern Akt nehmen von der Verirrung, welche über einen so tüchtigen und ernsten Forscher gekommen war. Die von ihm kurz vor dem eigenen Tode herausgegebenen „Fragmente aus dem Nachlaß eines jungen Physikers“ (Heidelberg 1810) vervollständigen den Eindruck, den man schon gewonnen hatte. Auf der einen Seite ein exakter, nach strengen Regeln experimentierender Naturforscher, auf der anderen ein naturphilosophischer Mystiker, der an die ihn umgebende Körperwelt die eigentümlichsten Fragen stellt und sie auf eine noch eigentümlichere Weise beantwortet. Geistesblitze, des Genies vollkommen würdig, wechseln mit Analogiespielereien, die uns oft nichts besseres als Albernheiten zu sein scheinen. Wie richtig und vorschauend

ist z. B. der Leitsatz, daß Chemie wie Physik ausschließlich Bewegungsgrößen zu messen haben; wie nichtssagend und doch eigentlich sinnlos der Ausspruch, daß durch Addition der gesamten Plus- und Minus-Materie des Universums Null entstehe! Als ein geradezu divinatorisches Aperçu zitieren wir auch das nachstehende: „Sind wohl Miasmen, Pockengift u. s. w. eine Art von organischem, organisch sich fortpflanzendem Stoff, etwa in Parallele zu stellen mit den parasitischen Pflanzen?“ Hier sind die kleinen Schädlinge des organischen Lebens, die Bakterien, an deren direkten Nachweis damals noch kein Mikroskopiker denken durfte, klarer beschrieben, als dies später im Laufe von vielen Jahrzehnten geschah. Und ebenderselbe, der im Geiste die ferne Zukunft vorwegnahm, konnte ein Gedankenprodukt, wie das folgende, drucken lassen: „Das ganze Katzengeschlecht ist Menschengeschlecht, und der Mensch bloß die edelste Katze, gleichsam die Sonne derselben“! Hat der, dem diese Zeilen entsprossen, sich dabei auch nur irgend etwas gedacht?

Das Schwelgen in Aphorismen, flüchtig hingeworfenen Aussprüchen, ist für die Naturphilosophen überhaupt typisch. Auch K. C. F. Krause (1781—1832), an und für sich eine weit logischere Natur als der Hyperidealist Ritter, konnte sich dem Zeitgeschmacke nicht entziehen und nahm in seine „Anleitung zur Naturphilosophie“ (Jena-Leipzig 1804), die Hohlfeld und Wünsche 1894 aus historischen Gründen neu auflegten, zahlreiche derartige Gedankensplitter auf, die uns geradezu eine Perversität des Denkens zu verraten scheinen. Derselbe Mann, der in der reinen Mathematik eine so glückliche Hand hatte und eine neue Theorie der Sternpolygone schuf, der die physische Erdkunde rein intuitiv mit wertvollen Wahrnehmungen, so z. B. hinsichtlich der vulkanischen Natur der ostasiatischen Inselguirlanden, bereicherte — er konnte die Frage aufwerfen, ob nicht manche Doppelsterne als „Himmelleiber-Ehen höherer Stufe und innigerer Art aufzufassen seien“. Nichts schien dem Naturphilosophen unergründlich, denn für den menschlichen Verstand waren ja ihm zufolge keine Grenzen gezogen. Wie könnte ein Astronom daran denken, zu untersuchen, ob die Sternhaufen oder die einzelnen Sterne die ursprünglichen Individuen sind? Krause nimmt eine Entscheidung hierüber ruhig

in das Programm auf, welches er seinen Zeitgenossen vorlegt, und welches an Reichhaltigkeit gewiß nichts zu wünschen übrig ließ.

Auch die Chemie, nicht bloß Physik und Astronomie, mußte den schädigenden Einfluß der aprioristischen Naturbetrachtung erfahren. J. Winterl (1732—1809) in Pesth trat 1805 mit der Entdeckung eines neuen Elementarkörpers hervor, dem er den Namen Andronie beilegte, und andererseits wollte er gewisse Metalle, denen wirklich die Eigenschaft von Elementen zukommt, in ihre Grundbestandteile zerfällt haben. Da Winterl auch sonst phantastische Behauptungen in die Welt zu schicken liebte, stießen seine angeblichen Funde in der Fachwelt auf die entschiedensten Zweifel, und die Folgezeit hat den Zweiflern Recht gegeben.

Von den Philosophen dieser Periode durften nur wenige von sich rühmen, sich gegen die Verlockungen der modernen Methode stets ablehnend verhalten zu haben. Zu diesen Ausnahmen gehört in erster Linie J. F. Herbart (1776—1841). Auch er hielt es für gestattet, gewisse Grundthatsachen, wie Anziehung, chemische Verwandtschaft u. dergl., metaphysisch zu erklären, aber seine nüchterne, mathematisch geschulte Denkweise hielt ihn ab, sich auf den schwankenden Boden der Begriffskonstruktion verleiten zu lassen. Man hat ihm vorgeworfen, ohne innere Notwendigkeit die mathematische Betrachtungsweise in Gebiete hineingetragen zu haben, welche ihrem innersten Wesen nach einer solchen unzugänglich seien, und es ist auch dieser Vorhalt nicht ganz unberechtigt. Herbarts mathematische Psychologie, die sich die Aufgabe stellt, nach den Formeln der Statik und Dynamik das Kommen und Schwinden der Vorstellungen, das Hinabtauchen unter die Bewußtseinsschwelle und das Wiederhervorkommen derselben aus ihrem Schlupfwinkel zu berechnen, vermochte die Seelenlehre selbst nicht zu fördern, und auch die späteren Bemühungen von Th. L. Wittstein (1816 bis 1894) und M. W. Drobisch (1802—1818) mußten in der Hauptsache erfolglos bleiben, wiewohl ein gewisses formales Interesse dem psychologischen Kalkül nicht abzusprechen ist. Es war doch immer erfreulich, einen Versuch zu konstatieren, durch den ein ganz neues Arbeitsfeld exakter Behandlung unterworfen werden sollte,

und zwar gerade in einer Zeit, welche sich so grundsätzlich vom Exakten abgewendet hatte. Der Groll Schellings gegen die Mathematiker war keine vereinzelte Erscheinung.

Reichlichen Anteil an dieser Abneigung nahm insbesondere eine auch in der Geschichte der Naturwissenschaften ganz eigenartig dastehende Persönlichkeit, welche zwar mit der Naturphilosophie durch vielfältige Beziehungen verknüpft, gleichwohl aber eine viel zu urgesunde Individualität war, um an den hochtrabenden, des Inhaltes entbehrenden Wortkämpfen der zünftigen Philosophen Gefallen zu finden. Dies war Goethe, der Allumfassende. Er hatte mit jenen nur das gemein, daß er an der mathematischen Einkleidung und an der experimentellen Lösung physikalischer Probleme Anstoß nahm; die erstere lag überhaupt, weil er niemals der Größenlehre näher getreten war, ganz jenseits seines Gesichtskreises, und dem Versuche war er feind, weil er es für verfehlt hielt, die freie Natur durch Auferlegung beschränkender, ihr Walten dem Wunsche des Menschen anpassender Bedingungen sozusagen in eine Zwangslage zu versetzen. Bekannt ist, daß sich sein Unmut gelegentlich in kräftigen Worten Luft machte: „Geheimnisvoll am lichten Tag, läßt sich Natur des Schleiers nicht berauben, und was sie Deinem Geist nicht offenbaren mag, das zwingst Du ihr nicht ab mit Hebeln und mit Schrauben.“ Ein feiner und glücklicher Naturbeobachter, wie er war, sah er freilich ohne die Hilfsmittel des Experimentiersaales gar vieles, was anderen verborgen geblieben war, und wir werden noch erfahren, daß sein Scharfblick ihn auf anderen naturwissenschaftlichen Arbeitsgebieten ganz richtig geleitet hat, aber seine einseitige Verachtung der wichtigsten Werkzeuge, welche die denkende Menschheit zur Erschließung der Naturgeheimnisse hergestellt hat, enthielt ihm den heiß ersehnten Erfolg gerade in jenem Bereiche vor, dessen Erforschung ihm am meisten am Herzen lag. Es wird sich später Gelegenheit ergeben, seiner optischen Studien im passenden Zusammenhange Erwähnung zu thun. Man weiß, daß er, wenn die strenge Wissenschaft seinen Lieblingsbeschäftigungen ins Gehege kam, sehr hart und ungerecht werden konnte, wie er denn auch über A. v. Humboldt, mit dem er in jüngeren Jahren, anläßlich eines Besuches in Jena, Freund-

schaft geschlossen hatte, sich späterhin in ganz erbitterten Worten äußerte. Am späten Abend seines Lebens freilich mußte er, ein am 5. Oktober 1831 an Zelter geschriebener Brief ist deß Zeuge, dem großen Naturforscher doch wieder seine Huldigung darbringen. Goethe ist den Affiliierten der Naturphilosophie ohne allen Zweifel zuzurechnen, aber sein starker Geist und sein klarer Blick konnten ihn nicht an den Orgien Geschmack finden lassen, welche die Chorführer der Schule in den ersten beiden Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts feierten. Wir kommen, wie bemerkt, noch mehrfach auf Goethe zurück.

Blieb denn aber, diese Frage drängt sich jetzt ganz von selbst auf, in diesem Zeitalter jede Gegenbewegung aus den Reihen Derer völlig aus, welche durch Beruf und bessere Einsicht dazu verpflichtet gewesen wären, für die mißhandelte Naturwissenschaft einzutreten und die Bedeutung der Richtschnur aller einschlägigen Forschungen, des Kausalitätsgesetzes, ins richtige Licht zu stellen? Gewiß fehlte es nicht an gegnerischen Kundgebungen, aber ihnen fehlte die Einheitlichkeit, und auch der Umstand fiel nachteilig in die Wagschale, daß kein Gelehrter von hohem Rufe den Widerstand organisierte. Das Ausland hat sich um die deutschen Verhältnisse so gut wie gar nicht gekümmert; einem französischen oder englischen Naturforscher wären Schelling und Hegel, Ritter und Krause einfach unverständlich geblieben, auch wenn es gelungen wäre, die aus der Sprache entspringenden Schwierigkeiten zu überwinden. Aber auch die wirklich originellen und mit klarer Einsicht begabten Fachmänner Deutschlands verhielten sich wesentlich neutral. A. v. Humboldt lebte im Brennpunkte rationeller Forschung, in Paris, und dachte wenig an die „querelles allemandes“; L. v. Buch war fast stets auf großen Reisen abwesend; Gauß verschloß sich mit seinen tiefsinnigen Gedankengängen in die Stille seines Studierzimmers und war ohnehin jedem Hinaustreten auf den Markt des Lebens gründlichst abgeneigt, obwohl er in Privatbriefen an vertraute Freunde die vernichtendsten Urteile über das Wesen der naturphilosophischen Deduktionen zu fällen liebte. So durfte die Naturphilosophie ziemlich ungestört ihr Spiel treiben, und erst das Erstarken echtwissenschaftlichen Geistes im dritten und noch mehr

im vierten Dezennium des Jahrhunderts schuf endlich den nunmehr schon von vielen ersehnten Wandel.

Eines Mannes aber müssen wir ehrend gedenken, der in schlimmster Zeit ungescheut seine Stimme erhob und den Zeitgenossen einen Spiegel vorhielt, in dem das Bild der Modegottheit seiner Wirklichkeit nach und ohne die täuschende Schminke, welche ihm seine Verehrer vor der Welt gewöhnlich aufgelegt hatten, zu sehen war. Sein Verdienst zu betonen, ist umsomehr eine Ehrenpflicht, weil er heute so gut wie ganz vergessen zu sein scheint; sogar in geachteten Werken über Geschichte der Physik sucht man nach ihm umsonst. Und das hat L. W. Gilbert (1769 bis 1824), Professor der Physik und Chemie an der Universität Halle, wahrlich nicht verdient. Man wird es also begreiflich finden, wenn wir uns etwas eingehender mit der Monographie beschäftigen, welche er (Halle 1808) gegen gewisse ungesunde Zeiterscheinungen, die er mit Recht als der strengen Naturlehre gefährlich erachtete, ausgehen ließ.

Das Buch ist zunächst gegen Ritter und dessen oben geschilderte Versuche mit sensiblen Menschen gerichtet, aber sein Zweck ist doch ein allgemeinerer. Ritter blieb nicht bei seinem Medium Campetti stehen, sondern er experimentierte auch mit dem sogenannten Schwefelkiespendel und sogar mit der berüchtigten, aus der mittelalterlichen Magie bekannten Wünschelrute; die spontanen Bewegungen dieser „Instrumente“ sollten Erzlagerstätten oder auch verborgen in der Erde fließendes Wasser anzeigen, so daß man auch die Quellenfindung auf diesem Wege erleichtern zu können glaubte. Gilbert nahm die Angaben Ritters und seiner Gesinnungsgenossen — Thouvenel, Amoretti, Schaeffer u. s. w. — unter seine kritische Lupe und that dar, wie sehr gegen die ersten Regeln der Experimentierkunst verstoßen worden sei. So fragt er an, ob denn dem Metallsucher Campetti die Augen verbunden worden seien, denn man habe Beweise dafür, daß ihn in solchem Falle seine übernatürliche Kraft stets verlassen habe. „Das Gewebe von Polaritäten“, in welches sich Ritter selbst ebensowohl wie die ihm Vertrauenden eingesponnen hatten, wird mit rauher Hand zerrissen. Ein gewisser Maréchaux, der in München Campetti

an der Arbeit gesehen hatte, kam Gilbert zu Hilfe. Auch die geschichtlichen Exkurse über Wundererscheinungen, die sich dann hinterher auf Betrug oder auf ganz natürliche Zwischenfälle zurückführen ließen, trugen in den Augen jedes Nichtenthusiasten dazu bei, die unterirdische Elektrizität, welche ja die treibende Kraft bei diesen wunderbaren Leistungen sein sollte, in immer fragwürdigerem Lichte erscheinen zu lassen.

Es thut wirklich wohl, die vernünftigen Gilbertschen Ausführungen zu lesen; demjenigen, der die Rittersche Phraseologie noch in frischem Gedächtnis hat, ist zu Mute, als wäre er aus einer mit Stickgas beladenen Atmosphäre in reine Luft versetzt. Gilbert spricht die Sprache des gesunden Menschenverstandes, die nachgerade Vielen, und gerade den Besten, unverständlich geworden war. Wir können heute, nachdem inzwischen neunzig Jahre verflossen sind, die Wirkungen dieses Appells an die bessere Einsicht nicht mehr gehörig verfolgen, aber es ist doch wohl zu vermuten, daß auch die überzeugende Beweisführung des Halleschen Physikers dazu mitgeholfen hat, den Beteiligten die Augen zu öffnen und die unausbleibliche Reaktion vorzubereiten. —

Es war kein erfreuliches Kapitel in der Geschichte der Naturwissenschaften, durch welches wir unsere Leser zu führen hatten, allein wir fühlten uns dazu gerade deswegen besonders verpflichtet, weil in den allermeisten Darstellungen von dieser Episode gar nicht oder doch nur wenig gesprochen wird. Und doch war sie eine Notwendigkeit, wenn der Fortgang der Wissenschaft ein gedeihlicher werden sollte; denn die hochfliegenden Geister, welche einen Königsweg zum Eindringen in die Geheimnisse der Natur gefunden zu haben wähnten, und denen der alterprobte Weg des Sammelns von Thatsachen zu langweilig und zu wenig großartig erschien, mußten erst durch einen gründlichen Mißerfolg eines besseren belehrt, von der Nutzlosigkeit ihrer titanenhaften Himmelstürmerei überzeugt werden. Deduktion der Natur setzte sich Krause, der noch am meisten verständliche und teilweise genießbarste Vertreter der ganzen Richtung, zum Ziele; das Getriebe der Naturkräfte sollte einzig aus dem menschlichen Verstande heraus begriffen werden. Das aber ist eben unmöglich; die Natur läßt

sich nicht a priori durch vom Menschen gemachte Begriffe konstruieren, sondern sie steht über dem Menschen, der ja nur ein Teil ihrer selbst ist, und erheischt gebieterisch die Anwendung der induktiven Methode. Ehe man aber diese Wahrheit, die einem historisch gebildeten Naturforscher kaum verborgen bleiben konnte, in ihrer ganzen Ausdehnung und Tragweite verstand, mußte man vorher das entgegengesetzte, unserer Eigenliebe weit mehr schmeichelnde Verfahren auf die Spitze getrieben, mußte man die Unmöglichkeit erkannt haben, das Weltall als ein Erzeugnis des Menschengeistes aufzufassen. Der Hochmut kam zu Fall, die Tyrannis der Bauleute brach sich an dem spröden Materiale, und so kam man ganz von selbst wieder auf den richtigen Weg. So erscheint uns das, was man zusammenfassend Naturphilosophie nennt, als eine unvermeidliche Durchgangsperiode der Forschung, welche erst überwunden werden mußte, ehe die Erkenntnis dessen, was not thut, sich Bahn zu brechen vermochte. Eine Kinderkrankheit der Naturforschung hatte dieser keinen bleibenden Schaden gebracht, und nur um so gestärkter konnte sie ihren Siegeslauf antreten, der bis zum heutigen Tage keine Unterbrechung mehr erfahren hat.

Drittes Kapitel.

Die Mathematik im 19. Jahrhundert.

Gerade die Wissenschaft, von welcher die Naturphilosophen, im ganz richtigen Gefühle eigener Unzulänglichkeit, nichts wissen wollten, die reine Mathematik, ist für die anorganischen Naturwissenschaften das mächtige Instrument geworden, dessen Handhabung den einzelnen Teilen eine Stärke und Zuverlässigkeit verlieh, wie sie früher für unmöglich gehalten worden wäre. Aus diesem Grunde dürfen wir auch von ihr und ihren Fortschritten an diesem Orte nicht gänzlich Abstand nehmen. Selbstverständlich kann dieser Überblick nur ein ganz summarischer sein; zudem entbehren ja auch ziemlich viele Zweige der Mathematik der direkten Verwandtschaft mit den Naturwissenschaften. Wir erinnern nur an die Zahlentheorie, an die nichteuklidische Geometrie, an die neueren Untersuchungen über das Geltungsbereich der unendlichen Reihen und anderer Infinitesimalgebilde. Um so bedeutungsvoller sind dagegen die Arbeiten über höhere Analysis, in steter Verbindung mit der theoretischen Mechanik, geworden, und demnach erfordert es die Vollständigkeit, wenigstens mit einigen Worten auch auf die geschichtliche Entwicklung der hochwichtigen Hilfswissenschaft einzugehen.

Im Beginne des Jahrhunderts sah es in Deutschland, vorab auf den Universitäten, nicht besonders trostvoll aus. Gewiß gab es, auch nachdem gerade im Jahre 1800 der damals über Gebühr gefeierte, später grundlos herabgesetzte A. G. Kaestner (1719 bis

1800) geschieden war, noch da und dort tüchtige Lehrer — C. F. v. Pfleiderer (1736—1829) in Tübingen, G. S. Klügel (1739—1812) in Helmstedt und später in Halle, K. B. Mollweide (1774—1825) in Leipzig, K. D. v. Münchow (1778—1836) in Jena und nachher in Bonn —, aber selbst das neu aufblühende Berlin, sonst der Magnet aller hervorragenden Kräfte, konnte sich in J. Ph. Gruson (1768—1857) und E. H. Dirksen (1792 bis 1850) keiner Kapazitäten ersten Ranges rühmen, so tüchtige Männer sie auch waren. Dazu kam, daß ein Vorurteil die meisten Lehrer zurückhielt, ihren Schülern das Beste mitzuteilen, was sie selbst besaßen; Vorlesungen über höhere Mathematik wurden nur selten gehalten, und ein Mann wie Mollweide, der doch selber tüchtige Leistungen aufzuweisen hatte, glaubte solche Vorträge für ganz unnütz und aussichtslos erklären zu müssen. Da kann man es denn ganz wohl verstehen, daß K. F. Gauß (1777—1855), der 1807 das Ordinariat der Mathematik in Göttingen übernommen hatte, „auf einsamer Höhe" lebte und des Verkehrs mit den eigentlichen Fachgenossen fast gänzlich entbehrte, während er gleichzeitig nahe Beziehungen zu den deutschen Astronomen unterhielt. Er hätte auch für die Ideen, mit denen er sich trug, keinen Anklang bei den Mathematikern der ersten Jahrzehnte gefunden. Der einzige, von dem er selbst sagt, er habe bei ihm volles Verständnis für seine Auffassung der „Metaphysik" der Mathematik gefunden, war ein Ungar, Wolfgang v. Bolyai (1775—1856); beide lernten sich als junge Leute in Göttingen kennen, und erst der Tod hat, wie wir dem erst unlängst veröffentlichten Briefwechsel beider Männer entnehmen können, ihrem Freundschaftsbunde ein Ende bereitet. Im übrigen fühlte sich Gauß völlig isoliert, und auch seine eigene Lehrthätigkeit blieb eine beschränkte.

Was für Deutschland, das galt auch für die meisten übrigen europäischen Länder. Großbritannien, wo hundert Jahre vorher der mathematische Genius sein Heimatland gehabt hatte, besaß neben vielen tüchtigen Gelehrten zweiten Ranges doch keinen eigentlich führenden Geist. Lebhaft pulsierte wissenschaftliches Leben in Italien, wo G. Malfatti (1731—1807), Mascheroni (1750 bis 1800), G. A. Plana (1781—1864) die glänzende Überlieferung

der Vergangenheit in Ehren hielten, und wo durch eine Fülle von Zeit- und Akademieschriften eine vorzügliche Gelegenheit zur raschen Verbreitung neuer Erfindungen und Entdeckungen gegeben war.

An der Spitze aber marschierte ohne alle Frage Frankreich oder, wenn wir uns ganz bestimmt ausdrücken sollen, Paris, denn niemals vorher und nachher hatte die Zentralisierung des Landes einen so hohen Grad angenommen, als zur Zeit des Direktoriums und des ersten Kaiserreiches. Nicht leicht jemals haben sich wieder auf so kleinem Raume so viele große Mathematiker zusammengefunden, wie dies in Paris während der Jahre 1790 bis 1820 der Fall war. Hier arbeitete noch immer Laplace an den fünf Bänden seiner „Mécanique céleste“, deren letzter 1825 herauskam. Hier schuf Lagrange die „Mécanique analytique“ (2. Auflage 1811—1815), die erste strenge, rein analytische Herleitung der Lehre von Gleichgewicht und Bewegung aus einem Minimum von Erfahrungsthatsachen, und kurz zuvor hatte er schon eine neue, ebenso geistvolle wie verwendbare Methode der Auflösung von Zahlengleichungen bekannt gemacht, welche dem Astronomen wie dem Physiker gleich willkommen sein mußte. Hier bildete gleichzeitig, geleitet durch seine Behandlung des Problemes von der Anziehung der Ellipsoide, neue Rechnungsvorschriften für die Integration algebraischer und transszendenter Funktionen der unermeßlich fleißige A. M. Legendre (1752—1833) aus, der auch an der Berechnung der großen geodätischen Operationen zu gunsten des Metermaßes einen wesentlichen Anteil hatte. Hier entstand im Kopfe des genialen Soldaten G. Monge (1746 bis 1818), den Napoleon I. besonders würdigte, eine neue Disziplin, die darstellende Geometrie, welche auch den Naturwissenschaften, die ja so häufig sich auf eine übersichtliche Veranschaulichung verwickelter räumlicher Verhältnisse angewiesen sehen, den größten Vorschub geleistet hat. Hier legte Baron G. C. F. Prony (1755 bis 1839) den Grund zu einer exakten Hydrodynamik und zu einer rationellen Anwendung der Mathematik auf alle Zweige des Maschinenwesens. Hier gab L. Puissant (1769—1843) der Topographie, wie er es nannte, d. h. der einheitlichen Geländezeichnung, die geometrische Grundlage. Eine geradezu unerschöpf-

liche Vielseitigkeit auf allen Gebieten der reinen und angewandten Mathematik entfaltete S. D. Poisson (1781—1840), dessen zahllose, vielfach an L. Euler gemahnende Abhandlungen für den Freund höherer Rechnung immer eine Quelle der Belehrung sein werden, mag auch der Physiker hie und da den Gedanken nicht unterdrücken können, daß über der Eleganz der Formel das naturwissenschaftliche Ziel etwas in den Hintergrund trete. Ein etwas jüngerer Zeitgenosse von ihm war J. V. Poncelet (1788—1867), der geistvolle Geometer, der sich in der aufgezwungenen Stille als Kriegsgefangener von 1812 an den Ufern der Wolga ein ganz neues System der Kurvenlehre ausgedacht hatte. Und was der Mechanik Lagranges noch fehlte, die zumal für statische Aufgaben notwendige Berücksichtigung der Drehung als eines der fortschreitenden Bewegung gleichwertigen Elementes, wurde durch die Kräftepaare und die Rotations-Sinnbilder L. Poinsots (1777—1859) ergänzt, der auch in der Raumlehre die von den alten Griechen gezogenen Grenzen mit Glück zu überschreiten wagte. Die Behandlung physikalischer Aufgaben — Wärmeleitung, strömende Bewegung, Luftschwingungen — geriet in ein neues Fahrwasser durch die ganz neue Auffassung des Wesens der unendlichen Reihen, welche man J. B. J. Fourier (1768—1830) verdankt. Man erkennt, daß diese Glanzzeit der älteren Pariser Schule, ohne daß eine Lücke aufzuzeigen wäre, sich über mehr denn ein halbes Jahrhundert erstreckt. Dieser Schule ist auch teilweise zuzurechnen A. L. Cauchy (1789—1857), der allerdings nur in seiner Jugend eine Professur in Paris bekleidete, später aber als Anhänger der verbannten Bourbonen ein Wanderleben führte und erst ganz zuletzt am Orte seiner frühesten Erfolge wieder von neuem zu lehren anfing. Ein Virtuose der Infinitesimalrechnung, ähnlich wie Poisson, aber mehr als dieser auch den höchsten, prinzipiellen Fragen seiner Wissenschaft zugewandt, hat Cauchy insbesondere auch die analytische Optik mit neuen Entdeckungen bereichert.

Die französische Akademie kann von dem geistigen Leben, welches Paris in jener Zeit zur neidlos anerkannten Metropole alles exakten Wissens und Forschens machte, unmöglich getrennt werden; sie löste in ganz vorzüglicher Weise ihre traditionelle

Aufgabe, den Brennpunkt für alle höheren Bestrebungen des französischen Volkes abzugeben. Dazu trat aber noch eine Schöpfung der Revolutionszeit hinzu, welche als ein recht deutlicher Beweis für die innere Kraft dieser so merkwürdigen, vielfach abstoßend wirkenden und in letzter Instanz doch ungemein segensreichen Periode betrachtet werden kann. Die „École normale“, welcher Lagrange seine Kraft lieh, hielt sich zwar nicht gar lange, aber an ihre Stelle trat, von Monge organisiert, die „École polytechnique“, das Vorbild aller Polytechnika und aller technischen Hochschulen der Folgezeit. Mitten in den Stürmen der Koalitionskriege lieferte die Anstalt unausgesetzt dem französischen Heere einen Stamm ausgezeichneter Artillerie- und Genieoffiziere, und da die Nachfrage nach solchen eine ungeheure war, tüchtige Lehrer aber nicht aus der Erde zu stampfen waren, so verfiel Monge auf den glücklichen Gedanken, selbst nur eine kleinere Zahl besonders befähigter junger Leute zu unterrichten und diesen Unterlehrern dann wieder die Ausbildung einer bestimmten „Brigade“ von Zöglingen zu übertragen. Die Restauration hat schonungslos mit den Neubildungen der Demokratie und des Cäsarismus aufgeräumt, aber die polytechnische Schule ließ auch sie bestehen, und noch bis zum heutigen Tage hat das „Journal de l'école polytechnique“ seinen Rang als ein angesehenes Organ der exakten Disziplinen zu behaupten verstanden.

Überhaupt hat die Mathematik durch ihre Zeitschriften immer einen großen Einfluß ausgeübt, wie derjenige wahrnimmt, der den Fortschritt der Wissenschaft quellenmäßig verfolgen will. Die „Annales de mathématiques pures et appliquées“, welche J. D. Gergonne (1771—1859) und J. E. Th. Lavernède (1764 bis 1848) zu Nîmes seit 1810 herausgaben und welche es, selbstverständlich unter mehrfachem Redaktionswechsel, jetzt auf neunzig Jahre gebracht haben, hatten, ähnlich wie J. A. Grunerts (1797—1872) 1841 begonnenes, 1872 an E. R. Hoppe (1816—1900) übergegangenes „Archiv der Mathematik und Physik“ und G. Battaglinis (geb. 1826) „Giornale di Matematiche“, hauptsächlich auch die Bedürfnisse der Schule und ihrer Lehrer im Auge; hingegen A. L. Crelles (1785—1850) „Journal für die reine und ange-

wandte Mathematik", unter K. W. Borchardts (1817—1880) Leitung zu neuem Glanze erblüht, stellte sich seit 1826 in erster Linie der Erweiterung der Wissenschaft zur Verfügung, und seine kaum übersehbare Bändereihe schließt so ziemlich die bedeutendsten Erzeugnisse deutschen mathematischen Geistes in sich. Später freilich erwuchs ihm vielseitige Konkurrenz, wie die neuen periodischen Organe von O. Schloemilch (geb. 1823) und M. Cantor (geb. 1829), A. Clebsch (1833—1872) und K. Neumann (geb. 1832) u. s. w. beweisen. Gegenwärtig entbehrt beinahe kein selbständiges Kulturland eines eigenen mathematischen Journales, und manche von ihnen, wie z. B. diejenigen von H. A. Resal (1828 bis 1896) und J. Liouville (1809—1882), B. Tortolini (1808—1874) und E. Beltrami (1835—1900), G. M. Mittag-Leffler (geb. 1846) und dasjenige, welches die Mathematiker der Vereinigten Staaten von Nordamerika herausgeben, erfreuen sich eines Weltrufes. Und zwar wäre es irrig, anzunehmen, daß man in den Spalten dieser Blätter ausschließlich abstrakte Darlegungen anträfe, denn es sind auch Mechanik und mathematische Physik ausgiebigst berücksichtigt. Die neuere Zeit hat auch zahlreiche periodische Veröffentlichungen didaktischen Charakters hinzugefügt, und J. C. V. Hoffmanns „Zeitschrift für mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht" hat für gar manche verwandte Unternehmung des Auslandes das Vorbild geliefert.

Wenn die Mathematik auf Probleme der Erfahrung angewandt wird, so reicht nur selten deren elementarer Teil aus. Gemeiniglich bringt es die Fragestellung mit sich, daß verschiedene veränderliche Größen durch Gleichungen unter einander zusammenhängen, und daß, wenn eine dieser Größen eine unendlich kleine Änderung erfährt, auch neue Gleichungen für die entsprechenden In- oder Dekremente der einzelnen Variabeln entstehen. Mit diesen Differentialgleichungen hat man sich, seit 1639 de Beaune das umgekehrte Tangentenproblem aufzulösen versuchte, auf das angelegentlichste beschäftigt, indem man entweder nach der Gleichung forschte, durch deren ein- oder mehrfache Differentiierung die vorgelegte Gleichung entstand, oder indem man, was zumal in den letzten Jahren geschah, ganz allgemein Kenn-

zeichen angab, welche für die gesuchte Funktion bestimmend sind, auch ohne daß man diese vielleicht in entwickelter Form hinzuzuschreiben vermag. Oftmals ist es angängig, die Veränderlichen zu sondern, so daß dann eine Anzahl von Integrationen die Erledigung bringt. Freilich sind die Fälle, in denen dies geschehen kann, beschränkt; der Rechner, der nicht immer wieder ermüdende Umformungen selbst vorzunehmen Lust und Zeit hat, findet in den Tafelwerken des Deutschrussen E. F. A. Minding (1806 bis 1885) und des Niederländers D. Bierens de Haan (geb. 1822) das gesamte Material in einer die augenblickliche Verwertung thunlichst erleichternden Zusammenstellung vor. Auch dann jedoch, wenn eine solche Ausrechnung sich verbietet, kann man hohe theoretische und praktische Ziele erreichen, wenn man für die betreffenden Integralgrößen, die auch um ihrer selbst willen betrachtet werden, neue Tabellen berechnet. So haben die elliptischen Funktionen, deren erstes Auftreten in der Geschichte sich an die Namen N. H. Abel (1802—1829) und K. G. J. Jacobi (1804 bis 1851) anknüpft, auch der angewandten Mathematik viel genützt. Vor allem aber läßt sich die Integration auch dadurch immer mit einer die Bedürfnisse des Fragestellers deckenden Genauigkeit erzwingen, daß man von einer Reihenentwicklung Gebrauch macht. Für Physik und theoretische Astronomie haben die zuerst von Legendre und Poisson eingeführten Kugelfunktionen und die nach einem berühmten Astronomen diesen Namen führenden Besselschen Funktionen eine ganz neue Ära begründet; außerdem erhielt die rechnende Physik, zu welcher ganz besonders die Meteorologie gehört, auch ein überaus kräftiges Werkzeug durch die Entwicklung in periodische Reihen. Zumal Franz Neumann (1798—1895) hat gezeigt, was man mit diesem anscheinend einfachen Hilfsmittel auf den verschiedensten physikalischen Arbeitsfeldern zuwege bringen kann.

Die Thatsache, daß eine mathematische Größe von einer zweiten abhängig ist, so daß jede Änderung der einen auch eine Änderung der anderen nach sich zieht, kennzeichnet die technische Sprache durch das Wort Funktion. Auf eine schärfere Begriffsbestimmung war namentlich von G. P. Lejeune Dirichlet (1805

bis 1859), dem Nachfolger von Gauß in Göttingen, das allgemeine Augenmerk gelenkt worden, aber die tiefgreifende Umgestaltung, wie sie zu Anfang der fünfziger Jahre durch den jugendlichen Riemann (1826—1866) bewerkstelligt wurde, erschien der ganzen Fachwelt so überraschend, daß nur ein einziger ihre wahre Bedeutung sofort voll übersah, eben Gauß selbst, der nachher erklärte, er habe sich schon seit Jahrzehnten mit derartigen Absichten getragen. In der That waren für G. F. B. Riemann frühere Gaußsche Studien allein leitend gewesen, vorab dessen geometrische Darstellung des Imaginären, durch welche erst eigentlich gewisse Rechnungsgrößen, die noch immer halb und halb als Fremdlinge in der Wissenschaft galten, in dieser ihr Bürgerrecht erhielten. Und gerade rechtzeitig hatte sich diese Adoption des bisherigen Stiefkindes durchgesetzt, denn in der höheren Optik war A. Fresnel (1788—1827) auch seinerseits auf imaginäre Zahlen gestoßen, deren wahre Natur jetzt ungleich leichter aufgeklärt zu werden vermochte. Die Funktion einer komplexen, d. h. aus einem reellen und einem imaginären Teile zusammengesetzten Veränderlichen ist der Angelpunkt geworden, um welchen sich die höhere Mathematik des letzten Halbjahrhunderts drehte, zumal nachdem späterhin noch die Begriffe von Substitution und Gruppe, halb unbewußt auch schon früher verwendet, ihre zeitgemäße Fassung erhalten hatten. Ein Vortrag, den F. Klein (geb. 1849) auf der Wiener Naturforscherversammlung hielt, hat die weiten Perspektiven angedeutet, welche sich einer immer engeren Verschmelzung der Riemannschen Funktionenlehre mit den einer mathematischen Behandlung fähigen Zweigen der Naturwissenschaft eröffnen.

Für diese Zweige — und zwar für sie sämtlich, ohne jede Ausnahme — hat aber ein gewisser Begriff fundamentalen Einfluß erlangt, der anfänglich nur in abstrakt mathematischer Einkleidung erschien, fast von Jahr zu Jahr neue Eroberungen in der Physik machte und zuletzt, wie sich später noch ausweisen wird, sich als gleichwertig mit einer anderen Definition herausstellte, die auch allmählich eine beherrschende Stellung im wissenschaftlichen Systeme errungen hatte. Gemeint ist das sogenannte Potential; wer in

unseren Tagen irgend eine physikalische, astronomische, ja sogar geologische oder chemisch-theoretische Abhandlung zu lesen unternimmt, muß darauf gefaßt sein, dieses Wort in denkbarst verschiedener Gedankenverbindung wiederkehren zu sehen, ohne daß in jedem Einzelfalle dem, welcher sich des analogen Begriffes bediente, der Zusammenhang desselben mit weit älteren Definitionen vollkommen klar zu sein brauchte. Lagrange war zuerst darauf verfallen, daß, wenn man die von irgend einem Körper nach dem Newtonschen Gesetze auf einen beliebigen Massenpunkt geübte Anziehungskraft bestimmen will, eine gewisse Funktion der Koordinaten dieses Punktes die entscheidende Rolle spielt; differentiiert man die Funktion nach den drei Veränderlichen x, y, z, so stellen die drei Differentialquotienten die drei nach den Achsen genommenen Seitenkräfte dar, und damit ist auch die gesuchte Anziehungsgröße nach Maß und Richtung gegeben. Nach und nach stellte es sich heraus, daß eine solche Funktion immer vorhanden ist, nach welchem Gesetze immer die Attraktion sich richten möge; dies ist eben die Potentialfunktion, welche Bezeichnung man, obwohl der um ihr Studium hoch verdiente Clausius eine Trennung aufrechterhalten wissen wollte, als mit Potential gleichwertig gelten zu lassen pflegt. Durch Gauß und den Engländer G. Green (1793 bis 1841), einen durch eigene Kraft vom Handwerker zum Professor in Cambridge aufgestiegenen Gelehrten, wurde mehr und mehr der universelle Geltungsbereich des immer noch wesentlich rechnerisch behandelten Begriffes aufgedeckt, bis es dann Helmholtz gelang, jenem einen unmittelbar greifbaren Sinn unterzulegen und ihm damit die gesamte Naturwissenschaft dienstbar zu machen. Seitdem man weiß, daß das Potential nichts anderes als eine gewisse immer wiederkehrende Arbeitsgröße ist, sind die früheren Untersuchungen, die zunächst nur den Mathematiker interessieren zu können schienen, in ein ganz neues Licht gerückt worden.

Alle die großen Neuerungen des Jahrhunderts, soweit sie uns bisher beschäftigten, hatten doch das miteinander gemein, daß sie sich gleichmäßig auf die uralten Regeln der gewöhnlichen Arithmetik stützten, daß die nämlichen Regeln auch für sie maßgebend waren, nach welchen das Kind in der Elementarschule rechnen lernt.

Nun war aber zu Anfang des Jahrhunderts unter den Auspizien des Russen N. Lobatschewskij (1793—1856) und der beiden uns zum Teile bereits bekannten Ungarn Bolyai de Bolya (Vater und Sohn) eine neue Geometrie entstanden, welche von dem altberühmten Parallelengrundsatze vollständig absah und trotzdem ein in sich konsequentes Lehrgebäude darstellte. Da schien es wohl möglich, auch das eine oder andere der arithmetischen Grundgesetze fallen zu lassen und zuzusehen, ob auch nach dieser absichtlich vollzogenen Amputation dem Körper der Wissenschaft eine gewisse — vielleicht sogar nach einer bestimmten Richtung hin gesteigerte — Bewegungsfähigkeit erhalten bleiben könne. Diese Erwartung hat sich vollinhaltlich bestätigt, doch durfte natürlich die Loslösung nicht nach Willkür erfolgen, sondern es mußte dabei gesetzmäßig, nach dem von H. Hankel (1839—1873) formulierten Prinzipe der Permanenz formaler Beziehungen, vorgegangen werden. So haben wir den Situationskalkül von H. Scheffler (geb. 1820), die Ausdehnungslehre von H. G. Graßmann (1809 bis 1877) und die Quaternionen von Sir William Rowan Hamilton (1805—1865) sich an den höchsten Problemen mit Erfolg versuchen sehen. Zumal der Quaternionenkalkül, welcher bei den Mathematikern angelsächsischen Stammes den größten Anklang fand, hat auch naturwissenschaftliche Zwecke gefördert und zur Klärung gewisser Fragen der höheren Optik beigetragen, die sich gegen die gewöhnlichen Untersuchungsmittel spröde verhielten.

Die Mathematik bedeutete für uns zu allererst ein mächtiges, bei geeigneter Art der Behandlung niemals versagendes Rüstzeug für die Ergründung der Wahrheit, für die Erforschung neuer naturwissenschaftlicher Thatsachen. Es giebt jedoch noch eine zweite, weit unscheinbarere, aber kaum minder wichtige Bethätigung der Mathematik, die darin besteht, daß die Beobachtungen und Messungen — astronomische, physikalische, chemische — rechnerisch von den ihnen immer anhaftenden Mängeln befreit und jenes Maßes von Genauigkeit teilhaftig gemacht werden, das unter den obwaltenden Umständen überhaupt zu erreichen ist. Die konstanten Fehler können durch die Geschicklichkeit des die Instrumente liefernden Mechanikers und des dieselben handhabenden Beobachters unschädlich

gemacht werden, aber zufällige Fehler bleiben immerhin noch übrig, und deren Ausmerzung gelingt allein der Wahrscheinlichkeitsrechnung, die in solchem Falle zur Ausgleichungsrechnung wird. Schon im 18. Jahrhundert trat an den älteren Tobias Mayer, als es sich um die Ermittlung der Umdrehungsdauer des Mondes handelte, die Notwendigkeit heran, aus einem Systeme, welches mehr unbekannte Größen als Gleichungen aufwies, diejenigen Werte für x, y, z ... u. s. w. zu erhalten, welche als die wahrscheinlich richtigsten anzusehen sind. Der „Traité analytique des probabilités“ von Laplace (Paris 1812) schuf auch für derartige Aufgaben eine neue Grundlage; aber erst Gauß brachte in den Jahren 1819 bis 1822 die hier maßgebenden theoretischen Fragen in ein festes System, das zugleich die Wünsche des Praktikers vollkommen zu befriedigen gestattete. Die Methode der kleinsten Quadrate beherrscht seitdem souverän sowohl die Naturwissenschaften als auch die solcher Behandlung zugänglichen Zweige der Technik. Ihr verdankt man es großenteils, wenn gigantische Tunnelbauten, wie sie bei den neueren Gebirgsbahnen unumgänglich sind, mit einer den Laien aufs höchste verblüffenden Genauigkeit ausgeführt werden können, und wenn der Durchschlag der letzten trennenden Wand gerade da erfolgt, wo er nach der Absicht des leitenden Ingenieurs erfolgen sollte.

Der Zweck dieser Skizze konnte nur der sein, an einzelnen ausgezeichneten Beispielen die innigen Beziehungen klargestellt zu haben, welche zwischen den Fortschritten der exakten Naturwissenschaften und denen ihrer mächtigsten Hilfswissenschaft bestehen. Vor allem auch dann, wenn die Würdigung der naturwissenschaftlichen Ergebnisse unter dem erkenntnistheoretischen Gesichtspunkte geschehen soll, ist der Beirat der Mathematik nicht zu entbehren; näheres Eingehen auf diese Frage, welche zugleich eine Reihe anderer aufrollt, wollen wir uns jedoch bis zum Schlußkapitel versparen.

Viertes Kapitel.

Alexander v. Humboldt.

Das neunzehnte Jahrhundert war und ist der Polyhistorie feindlich gesinnt, Spezialforschung hat es von allem Anfange an auf seine Fahne geschrieben, und unter diesem Zeichen hat es Großes vollbracht. Ob nicht auch in der Verfolgung des an und für sich zweifellos ebenso weittragenden wie richtigen Gedankens allzu weit gegangen werden kann, bleibe für jetzt dahingestellt; auch dieses Bedenken wird zu streifen sein, wenn es die Bilanz des Jahrhunderts zu ziehen gilt. Man möge über die Berechtigung des Strebens nach umfassender Stoffbeherrschung denken, wie man wolle — in Abrede wird nicht zu stellen sein, daß angesichts des rapiden Anwachsens aller Teile die Gewinnung eines wirklich beherrschenden Standpunktes von Jahr zu Jahr mehr eine Unmöglichkeit wird. Aristoteles, Albertus Magnus, Leibniz, sie gehören einer uns heute kaum noch recht verständlichen Vergangenheit an, und ihresgleichen kann die Gegenwart nicht mehr hervorbringen. Und doch hat es in unserem Jahrhundert einen Fürsten der Wissenschaft gegeben, der volle sechs Jahrzehnte hindurch eine zentrale, von In- und Ausland gleichmäßig anerkannte Stellung einnahm und, wenngleich seine späteren Lebensjahre der Wissenschaft nur gelegentlich noch eigentlich neue Errungenschaften zuführten, doch allseitig als Autorität mit entscheidender



Alexander v. Humboldt

C. Begas pinx. C. Wildt lith.

Stimme anerkannt wurde. Diesem Manne, den man wohl den letzten Polyhistor zu nennen ein Recht hat, glaubten wir einen eigenen Abschnitt einräumen zu sollen. Nach allen Seiten hat er fördernd, fruchtbringend, anregend gewirkt; von ihm haben die Deutschen die schwere, vorher wenig von ihnen beachtete Kunst gelernt, wissenschaftliche Wahrheiten in gemeinverständliche Form zu kleiden und damit auch solche Kreise zu Verständnis und Teilnahme heranzuziehen, welche der berufsmäßigen Gelehrsamkeit von Hause aus ferner stehen und zu deren Trägern sogar — manchmal wohl nicht ohne Ursache — mit Scheu und Argwohn aufsehen. So hat der Verfasser des „Kosmos" seinem deutschen Volke ein Geschenk von dauerndem Werte hinterlassen, welches von diesem auch erfreulicherweise in liebevolle Pflege genommen worden ist.

Alexander v. Humboldt (14. September 1769 bis 6. Mai 1859) hatte sich, in Gemeinschaft mit seinem gleich berühmten Bruder Wilhelm, dem genialen Staatsmanne, Sprach- und Altertumsforscher, ursprünglich dem Kameralstudium bestimmt, mutmaßlich wohl deshalb, weil dieses, so wie es damals aufgefaßt ward, mit zahlreichen anderweitigen Wissensgebieten Berührungspunkte hatte. Allein als er 1789 die sehr mittelmäßige Universität Frankfurt a. O. mit dem durch treffliche Lehrer zu wohlverdientem Rufe gelangten Göttingen vertauschte, ließ er sich im Verkehr mit Heyne, Kaestner und Lichtenberg einerseits für archäologische, andererseits für naturwissenschaftliche Dinge interessieren, und nebenher fing der vertraute Umgang mit Georg Forster (1754—1794), dem Chronisten der zweiten Cookschen Weltreise, eine stets sich steigernde Wirkung zu äußern an. Der zwanzigjährige Studiosus stiftete mit gleichgesinnten jungen Leuten, unter denen der Physiker J. G. Kries (1768—1849), der chemische Geologe H. F. Link (1767—1851) und der Orientreisende U. J. Seetzen (1767 bis 1811), zu nennen wären, eine „Physikalische Gesellschaft", die insbesondere auch geographische Ziele ins Auge faßte, und suchte auch seinen Blick durch kleinere und größere Streifereien in die Umgebung zu erweitern. Eine kleine Schrift geschichtlich-mineralogischen Inhaltes gab er schon 1790 heraus. Mit Forster

unternahm er im gleichen Jahre eine größere Reise, die ihn an den Niederrhein und nach England führte und seine empfängliche Seele mit einer Fülle nachhaltiger Eindrücke bereicherte. Seine polyhistorischen Neigungen regten sich immer entschiedener. Ein Semester brachte er auf der Hamburger Handelsakademie zu, um sich unter Büsch in Mathematik, Volkswirtschaftslehre und Finanzwissenschaft auszubilden; in zwei weiteren Semestern legte er, von Werner wohlwollend beraten, an der Bergakademie zu Freiberg den Grund zu jener tiefen Einsicht in geognostische und montanistische Fragen, die seinen späteren Lebenslauf wesentlich bestimmen sollte. Als preußischer Bergmeister in der kurz zuvor erworbenen Markgrafschaft Bayreuth hob er den arg darniederliegenden Bergbau zu vorher nur selten, später nie wieder erreichter Höhe, und es lag an ihm, die Hand nach den höchsten Ehrenstellen auszustrecken, welche der Staat Friedrich Wilhelms III. einem Bergbaukundigen gewähren konnte. Aber das Ziel, welches sich der junge Humboldt gesteckt hatte, war ein höheres. Ihm schwebte eine neue, auf gründlichster Kenntnis des Erdganzen beruhende, die tellurische Physik mit der kosmischen einende Naturwissenschaft vor; ihr wollte er sein Leben widmen, und dazu schien ihm gründlichste Vorbereitung durch weite Reisen die unerläßlichste Vorbedingung zu sein. Verschiedene Versuche, an einem afrikanischen Unternehmen teilnehmen zu können, scheiterten, und gleicherweise ging Humboldt der durch viele Lustren zäh festgehaltene Wunsch, das Wunderland Indien durch eigene Anschauung kennen zu lernen, niemals in Erfüllung. Dafür gewährte reichlichen Ersatz die 1798 sich eröffnende Möglichkeit, von Spanien aus eine Expedition ins Werk setzen zu können. Allein wieder zerschlug sich die erste Hoffnung, von Valencia nach der Levante zu segeln, und statt dessen eröffnete ihm im März 1799 das spanische Ministerium, daß ihm die — nur in außerordentlich seltenen Fällen erteilte — Genehmigung zu freier Bereisung der amerikanischen Kolonien gegeben werde. Alle Reisenden, Spanier nicht ausgeschlossen, hatte die engherzigste Politik von Süd- und Mittelamerika bisher ausgeschlossen; dem jungen, mit Empfehlungen nur sparsam ausgerüsteten Deutschen und seinem Reisegefährten Aimé Bonpland

(1773—1858), einem tüchtigen Botaniker, öffneten sich alle Thore. Am 5. Juni 1799 kehrten beide in Coruña Europa den Rücken, und Bonpland begleitete den Freund zurück, doch nicht für lange Zeit. Seit seines Kaisers Sturz im Jahre 1814 hat er diesen Erdteil niemals wieder gesehen, weil er sich — zuerst gezwungen und in der Folge zu sehr mit dem Tropenlande verwachsen — in Paraguay für immer niedergelassen hatte. Humboldt setzte am 3. August 1804 zu Bordeaux den Fuß wieder auf europäischen Boden, nachdem er in fünf Jahren Venezuela, Columbia, die Antillen, Ecuador, Peru, Mexiko durchwandert und auch der nordamerikanischen Union einen kurzen Besuch abgestattet hatte. Auf diesen Reisen, die schon an Umfang mit denen der berühmtesten Exploratoren sich messen können, ist er der große, weitsichtige Naturforscher geworden, als welchen ihn die Welt verehrt. Die alte Welt hat er fortan nicht mehr verlassen, aber schon in vorgerücktem Alter unternahm er, von dem Mikroskopiker C. G. Ehrenberg (1795—1876) und dem Chemiker G. Rose (1798—1873) geleitet, noch eine keineswegs oberflächliche Bereisung Innerasiens (12. April bis 28. Dezember 1829), die ihn bis an die chinesische Grenze führte und in vielen Hinsichten das von ihm entworfene Erdbild zu vervollständigen geeignet war, mochten ihr auch unmittelbare Resultate so fundamentalen Gepräges versagt sein, wie sich solche in dem klassischen Reisewerke „Voyages aux régions équinoxiales du Nouveau Continent“ finden.

Fürs erste verblieb Humboldt in Paris, wo er in des Wortes wahrstem Sinne seine zweite Heimat gefunden hatte. Man nahm ihn, der in jener Periode das Französische mindestens ebenso wie seine Muttersprache beherrschte, für einen berühmten Landsmann, und es wird berichtet, daß ein Droschenkutscher, als der Fremde — der Schlesier Holtei — die Nummer seiner Wohnung nannte, sofort ausrief: „Ah, chez Monsieur de Humboldt.“ In Berlin ist ihm später dergleichen nicht widerfahren, und es muß auch wahrheitsgemäß zugestanden werden, daß er sich in der Heimat niemals so eingelebt und so wohl befunden hat, wie in der Metropole, deren wissenschaftliche Zirkel ihm jene Anregung boten,

auf die er zeitlebens viel gehalten hat, und die er in Berlin und Potsdam schmerzlich vermißte. Das Berlin der dreißiger und vierziger Jahre war eben auch nicht das der Jahrhundertwende, und wenn sich später ein regeres Leben dort entwickelte, so trug dazu Humboldts Beispiel und Anfeuerung nicht zum wenigsten bei.

Als erste große Aufgabe trat an ihn die heran, das Reisewerk herauszugeben; bei dieser Arbeit unterstützten ihn die namhaftesten französischen Gelehrten, und nicht minder hatte er sich tüchtiger deutscher Mitarbeiter — J. Oltmanns (1783—1833) für astronomische Geographie, Willdenow und Kunth für Botanik — zu erfreuen. Leider war das Gesamtwerk auf einen so gigantischen Umfang berechnet, daß nicht eine einzige Bibliothek sich des Besitzes aller Bände rühmen kann. Und mehr denn zwei Dezennien nahm die gewaltige Redaktionsarbeit in Anspruch. Seit 1823 hielt er sich dann vorübergehend, seit 1827 dauernd wieder in Berlin auf, als Kammerherr und Berater zweier Könige eine eigenartige, von den Hofleuten nicht eben gerne gesehene Ausnahmestellung mit einer — für das damalige Preußen — hohen Bezahlung einnehmend. Als „unverantwortlicher Unterrichtsminister" hat er so unsäglich viel Gutes im Stillen gewirkt, Talente in ihrer Entwicklung gefördert, wissenschaftliche Institute ins Leben gerufen, die Besetzung höherer Lehrstellen mit hervorragenden Lehrkräften ermöglicht. Die treffliche Humboldt-Biographie, welche der Astronom K. G. Bruhns (1830—1881) im Jahre 1872 zu Leipzig herausgab, und für deren einzelne Abschnitte angesehene Vertreter der Geschichte und Naturwissenschaften gewonnen worden waren, setzt uns in den Stand, die Thatkraft und Humanität des politisch und ethisch noch ganz in die Atmosphäre des großen Aufklärungszeitalters gehörenden Mannes zu bewundern, dem man kleine Schwächen gerne als fast unvermeidliche Randdekorationen eines schönen Lebensbildes nachsieht. Als eine solche Schwäche, die aber hinwiederum eine Stärkung des ganzen Wesens dieser einzig dastehenden Persönlichkeit ausmacht, mag man seine Hinneigung für französische Lebensweise hinnehmen. Alljährlich einige Wochen in Paris leben zu dürfen, hatte er sich gleich bei der Berufung von seinem Monarchen aus-

gebeten, und so manche Mißlichkeiten auch diese, Jahrzehnte hindurch einen Teil seines Daseins ausfüllende Reise in einer noch eisenbahnlosen Zeit mit sich brachte, so konnte ihn doch erst die Unbehilflichkeit des höchsten Alters einer lieb gewordenen Gepflogenheit entfremden. Als der bis zum letzten Atemzuge geistesfrische Greis „in unwahrscheinlichem Alter" — sein Lieblingsausdruck — ins Grab gesunken war, da hatte die ganze gebildete Welt das Gefühl, daß der Besten einer geschieden, und daß eine nicht auszufüllende Lücke entstanden sei. Kein Mann der Wissenschaft mehr hat je wieder eine gleich einflußreiche, gleich angesehene Stellung eingenommen, was freilich auch mit dem oben erwähnten, noch 1859 ungeahnten Aufschwunge der Einzelforschung auf allen Gebieten zusammenhängt.

Die geistige Erbschaft, welche er den jüngeren Generationen hinterließ, war eine ungeheure, aber als eines ihrer wichtigsten und wertvollsten Stücke muß die Nachwelt das Streben nach edler Popularität in Ehren halten. Vorträge für ein größeres Publikum wurden wohl in Großbritannien schon im 18. Jahrhundert abgehalten, aber auf deutschem Boden kannte man bis dahin nur ansehnlich honorierte Vorlesungen für einen ausgewählten Hörerkreis aus den oberen Gesellschaftsschichten. So hatte der junge Humboldt selbst das technologische Kollegium des Propstes Zoellner und die ästhetisch-psychologischen Causerien des Berliner Modeschriftstellers Moritz für sein gutes Geld gehört. Später hatten, wie schon erwähnt werden mußte, Schlegel und Steffens mit solchen Darbietungen viel Aufsehen erregt, aber durchweg stand eigentlich die Person des Redners im Vordergrunde, und die von ihm ausgehende Belehrung konnte bestenfalls eine enge begrenzte sein. Ganz anders hielt es Humboldt. Wahrscheinlich gehörten zu den Motiven, die ihn zu diesem seinem Vorgehen bewogen, die Nachrichten, die er von seinem intimsten französischen Freunde, dem trefflichen Physiker F. Arago (1786 bis 1853) empfing; denn ebenso wie dessen Artikel im „Annuaire du bureau des longitudes" wahre Muster für die Kunst sind, auch schwierige Gegenstände klar und überzeugend abzuhandeln, so hatte er auch durch seine Vorträge über Astronomie und Physik die

Pariser hinzureißen verstanden. Humboldt hatte als preußischer Akademiker zwar nicht die Verpflichtung, wohl aber das Recht, Vorlesungen an der Universität zu halten, und so entschloß er sich, im Wintersemester 1827 ein Collegium publicum anzukündigen. Als Objekt wählte er die physikalische Geographie, welche früher mehrfach von dem wackeren, aber niemals aus dem alten Gleise herausgetretenen Link vorgetragen worden war. Natürlich las Humboldt auch in einem der Universitätshörsäle, denn für die jungen Leute, „für die Kappen und Mützen", wollte er reden. Dies gelang ihm auch in überraschender Weise; so etwas hatte Berlin noch nie gehört; der ganze ungeheure Gegensatz zwischen diesen bescheiden sich gebenden Bekundungen eines wirklich überragenden Geistes und der Effekthascherei so manchen Vorgängers wurde auch dem Fernerstehenden deutlich. Hören wir den begeisterten Originalbericht eines Zeitgenossen, wie ihn die viel gelesene „Spenersche Zeitung" vom 8. Dezember 1827 brachte. „Die ruhige Klarheit", heißt es dort, „mit welcher Humboldt die in allen Fächern der Naturwissenschaften von ihm und Anderen entdeckten Wahrheiten umfaßte und zu einer Gesamtanschauung brachte, verbreitete in seinem Vortrage ein so helles Licht über das unermeßliche Gebiet des Naturstudiums, daß seine Methode mit diesem Vortrage eine neue Epoche ihrer Geschichte datiert." Das ist keine Überschwänglichkeit, sondern in Wahrheit hat sich mit Humboldts Auftreten ein Umschwung in der öffentlichen Meinung über das, was Naturwissenschaft ist und will, vollzogen. Bald hörte auch die einseitige Beschränkung auf die Hochschule auf; ganz Berlin verlangte nach einer Wiederholung der Vorträge, denen auch Friedrich Wilhelm III. und der Kronprinz wiederholt anwohnten, als vom Dezember 1827 bis zum April 1828 ein zweiter Zyklus, diesmal in der „Singakademie", veranstaltet wurde. Natürlich gab es auch Übelwollende. Die Hyperfrommen klagten über Freidenkerei; den Reaktionären war der liberale Grundton der Reden unbequem; von den Spöttern konnte man mehr oder minder gute Witze über das Mißverhältnis eines so hohen Gedankenfluges zur landläufigen Durchschnittsbildung vernehmen. Allein das änderte nichts an der Thatsache, daß die Vorträge einen überwältigenden Eindruck gemacht

und nachhaltig nicht bloß auf die damalige Gegenwart, sondern sehr weit über diese hinaus gewirkt haben. Will man Ohrenzeugen, so nennen wir den geradsinnigen Musiker Zelter, Goethes Freund, und den alten Marschall v. Gneisenau, den Träger der besten Erinnerungen aus Preußens großer Zeit.

Aus den Vorlesungen in der Singakademie — das Wort kennzeichnet die Sache nicht recht, denn Humboldt benutzte höchstens kleine Zettel mit Daten als Gedächtnisnachhilfe — ist der „Kosmos“ erwachsen, ein Werk, auf welches Deutschland auch dann noch stolz sein müßte, wenn es sich, was ja nicht zu erwarten, einmal herausstellen sollte, daß von dem darin errichteten Lehrgebäude kein Stein auf dem anderen bleiben darf. Nie vorher ist in deutscher Sprache ein ähnliches Buch gedruckt worden, und eine so vielseitige Litteratur auch seitdem den Büchermarkt überflutet hat, steht er doch noch immer unerreicht da. Der Cottasche Verlag erbot sich noch vor Beginn der Vorträge, als nur erst die Nachricht darüber durch die Zeitungen ging, zur Herausgabe derselben im Drucke. Seit kurzem hatte Gabelsbergers neue Kunst im bayerischen Ständehause glänzende Proben ihrer Verwendbarkeit abgelegt, und da lag der Gedanke nicht ferne, jeden einzelnen Vortrag stenographisch fixieren und unverzüglich drucken zu lassen, so daß das Werk bogenweise versendet werden könnte. Einsichtig, wie stets, ahnte der gefeierte Redner voraus, daß bei aller Treue der Niederschrift zwischen der Wirkung des freien Wortes und jener des Stenogrammes doch noch eine weite Kluft sich aufthun könne; darum lehnte er Cottas Vorschlag einstweilen ab, machte sich aber zur Herausgabe einer selbständigen Weltphysik anheischig, die denn auch — durch die asiatische Reise verzögert — in vier Bänden von 1845 bis 1858 erschien. Den fünften, ein sehr notwendiges Register enthaltenden Band hat Humboldts treuer Hilfsarbeiter, der Sprachforscher Buschmann, hinzugefügt. Der „Kosmos“ ist in elf fremde Sprachen übersetzt worden; die französische und englische Ausgabe besorgten Gelehrte, denen selber ein Weltruf zukam, Faye und Sabine.

Der erste Band des monumentalen Werkes enthält neben einleitenden Betrachtungen über Natur, Naturfreude und wissenschaft-

liches Naturerkennen eine gedrängte Schilderung des Universums und besonders unseres Planeten; der zweite ist rein historisch gehalten und dürfte, rein sachlich genommen, derjenige Teil sein, dem für alle Zukunft der bleibendste Wert beigemessen werden wird. Mustergiltig ist die Charakteristik der Griechen, der Araber, des Entdeckungszeitalters. Die Astronomie füllt den dritten Band, die Geophysik den vierten, dessen umfassende Aufklärungen über das vom Autor stets mit besonderer Vorliebe behandelte vulkanische Phänomen ebenfalls niemals gänzlich veralten können. Ein ungeheures Wissen, in welchem eben die polyhistorische Anlage des Mannes, seine für Großes und Kleines im Reiche der Forschung gleich liebevoll empfindende Individualität zum klarsten Ausdruck gelangt, drängt sich in den kleingedruckten Noten zusammen, die auch jetzt noch für den, der auf diesen Gebieten arbeiten will, eine Fundgrube bilden. Humboldt verschmäht es nicht, von Anderen zu lernen; alle ihm befreundeten Gelehrten — und wer hätte sich nicht geehrt gefühlt, dieser Schar sich zurechnen zu dürfen? — setzt er wegen Notizen und Erläuterungen in Kontribution, und stets wird, mit peinlicher Genauigkeit, der Name dessen mitgeteilt, dem irgend eine litterarische Kleinigkeit verdankt ward. An Humboldts Sprache hat man wohl ausgesetzt, daß sie für exaktwissenschaftliche Forschung zu schwungvoll und bilderreich sei, daß sein Stil dann und wann an französische Vorbilder gemahne, und dergleichen mehr. Wir lassen solche Einwürfe gelassen auf sich beruhen. Wenn nämlich auch vielleicht deren Berechtigung nicht immer bestritten werden kann, so erkennen wir doch schon ein ungeheures Verdienst darin, daß gegen die trostlose Dürre der älteren Naturforscher und Naturbeschreiber auf der einen, gegen die majestätisch-mysteriöse Hohlheit der Naturphilosophen auf der anderen Seite ein Gegengewicht geschaffen wurde. Was vielleicht zu großartig, wenn man will, zu poetisch war, ließ sich leicht abstreifen, und das Gute blieb bestehen. Die Welt überzeugte sich, daß es möglich sei, schwierige und oft abstrakte Fragen in einer Schreibart abzuhandeln, welche sich neben den besten stilistischen Mustern sehen lassen konnte.

Auch die übrigen, sehr zahlreichen Schriften und Aufsätze Humboldts sind des Lobes gleich würdig, welches wir seiner bedeutendsten Leistung zu spenden veranlaßt waren, aber sie hatten nicht die Bestimmung, auf einen weiteren Leserkreis zu wirken, und können deshalb an dieser Stelle füglich übergangen werden. Dagegen ist noch eines kleineren, bescheidenen Werkchens ehrende Erwähnung zu thun, welches sich neben dem „Kosmos" als ein Kabinettstück naturwissenschaftlicher Schriftstellerei bis zur Gegenwart erhalten und unaufhörlich die Leser hingerissen hat. Im Jahre 1808 veröffentlichte der damals noch in Paris lebende, an der Schwelle seiner Ruhmeslaufbahn stehende Gelehrte seine „Ansichten der Natur", ein kleines Buch, aber ebenso reizvoll wie inhaltsreich. Der Essay „Über die Steppen und Wüsten" ist ein Meisterwerk vergleichender Charakterzeichnung physisch-geographischer Verhältnisse; die „Ideen zu einer Physiognomik der Gewächse" führen erstmalig, getragen von einer unermeßlichen Erfahrung, aus, daß das Antlitz der Erde nicht bloß von der unbelebten, sondern vielenorts gerade von der unbelebten Natur in seinen Grundzügen bestimmt wird. Noch heute giebt es für einen jungen Naturforscher oder Geographen, der selbst zur Erforschung fremder Länder ausziehen will, kaum ein passenderes Geleitsbüchlein. Auch die „Ansichten" sind einer Übertragung ins Französische, Englische, Holländische und Russische teilhaftig geworden.

Wir halten dafür, daß auch schon die bisher kurz gewürdigte schriftstellerische Thätigkeit Humboldts eine Geistesarbeit von unvergänglichem Werte darstellt, und wenn er auch sonst keine Zeile geschrieben hätte, wären die Annalen der Wissenschaft genötigt, seinem Namen einen Ehrenplatz anzuweisen. Es ist jedoch auch im übrigen genug von seinen Leistungen hervorzuheben. Vor allem seine ausgedehnten geschichtlichen Untersuchungen, die ja, wie wir erfuhren, dem zweiten Bande des „Kosmos" so sehr zu statten gekommen sind. Wie er in den von Historie und Völkerkunde uns überlieferten Zahlensystemen der verschiedensten Stämme den leitenden Faden aufzeigte, ebenso hat er bahnbrechend gewirkt für die Geschichte der Entdeckungen und der nautischen Astronomie. Die Geographie und Kartographie des neuen Erdteiles hat er als

erster durch seine überaus zahlreichen Breiten-, Längen- und Höhenbestimmungen soweit fixiert, daß einigermaßen vertrauenswerte Karten der von ihm durchzogenen Länder angefertigt werden konnten. Ungemein zahlreich sind seine kleineren geologischen und mineralogischen Arbeiten, welche mit Vorliebe auf den schon in seinen Jugendversuchen hervortretenden Gedanken zurückgreifen, daß es möglich sein müsse, Gesetzmäßigkeiten in der Streichungsrichtung und Gesteinsbeschaffenheit der großen Erdgebirge ausfindig zu machen; mag er dabei hie und da zu sehr verallgemeinert haben, so verhalf ihm doch sein feiner Blick zu einer Fülle von richtigen Einzelerkenntnissen. Schon bald nach seinem Ausscheiden aus Werners unmittelbarer Schule hatte er, von den italienischen Feuerbergen ausgehend, die neptunistischen Dogmen abgestreift, und in Amerika sah er seine neu gewonnenen Anschauungen über die vulkanischen Erscheinungen voll gerechtfertigt.

Die Physik der Erde war es überhaupt, zu der sein von den mannigfachsten Neigungen und Interessen gefesselter Geist immer wieder, als zu seiner eigentlichsten Domäne, zurückkehrte, und auf diesem Felde war ihm auch seine reifsten Früchte zu brechen beschieden. Ihm gelang, was über hundert Jahre zuvor J. Sturm und Leibniz vergebens angestrebt hatten, die Ausdehnung eines Netzes geomagnetischer Beobachtungen über die ganze Erde. Rußland und England konnten sich seiner unermüdlichen Agitation nicht entziehen; der jetzt allseitig angenommene und zumal von den internationalen Polarstationen bewährt gefundene Plan der Terminbeobachtungen rührt von ihm her. Er lehrte die Beobachter das früher vernachlässigte Element der magnetischen Stärke, welches er bei jeder sich darbietenden Gelegenheit durch Schwingungszählungen ermittelte, nach Gebühr berücksichtigen, und noch als alter Mann scheute er die Mühe nicht, sich in Gauß' schwierig zu lesende Abhandlungen über das magnetische Potential der Erde hineinzustudieren und sich Klarheit darüber zu verschaffen, daß, wenn diese Größe bekannt ist, die magnetischen Koordinaten irgend eines Ortes, falls der etwas uneigentliche Ausdruck gestattet wird, leicht durch Rechnung herzuleiten sind. Auch geht auf Humboldt, wie die drastische Bezeich-

nung magnetisches Ungewitter, so der Nachweis zurück, daß jedes Polarlicht, wenn es sich sogar nicht über den Horizont des Beobachtungsortes erhebt, die Deklinatorien und Magnetometer in Unruhe versetzt.

Ein ganz besonders gründliches Augenmerk richtete Humboldt stets auf die Normen, nach denen sich die Wärmeverteilung auf der Erdoberfläche richtet. Sowohl die Wärme der Meere, wie auch die Abnahme der Temperatur mit der Höhe studierte er eifrig, und schon frühzeitig bemühte er sich, ein Gesetz für den Verlauf der Schneegrenze im Hochgebirge zu erkennen. In den Anden hatte er viele darauf bezügliche Beobachtungen angestellt; war ihm doch auch nahezu die Ersteigung des Chimboraço geglückt, den man in jenen Tagen noch für den höchsten aller irdischen Berge hielt. Humboldts am meisten in die Augen fallende und wirklich auch folgenreichste That war aber die Einführung des Begriffes der Isothermen oder Linien gleicher mittlerer Jahrestemperatur. „Humboldt ist", so äußert sich Meinardus in seiner Studie über diese neue „Graphik", „der Begründer der vergleichenden Methode in der Klimatologie." Für die horizontale magnetische Erdkraftkomponente hatte allerdings Halley schon viel früher eine solche kartographische Darstellung angebahnt, welche nachmals von Wilcke auch auf die Inklination ausgedehnt worden war, aber weitere Frucht hatte der originelle Gedanke vorderhand nicht getragen. Humboldt war demgemäß ein Erfinder, und als schöpferischer Geist wußte er auch gleich aus den neuen Diagrammen wichtige Schlüsse zu ziehen. Die beiden großen, unser physisches Klima im Gegensatze zum solaren bestimmenden Antithesen Küsten- und Kontinentalklima, Tiefen- und Höhenklima sind von ihm der Wissenschaft einverleibt worden, und vermittelst des Zwischengliedes der vergleichenden Klimakunde wurde er auch zum thatsächlichen Begründer eines bislang nur in schüchternen Anfängen vorhanden gewesenen Wissenszweiges, der Pflanzengeographie.

Wir sind weit entfernt, mit dieser unserer Aufzählung Humboldts Bedeutung als Spezialforscher für einigermaßen erschöpfend gewürdigt zu erachten. Im Gegenteile, wer sich dieser Aufgabe zu

unterziehen gedenkt, der wird noch auf sehr viele andere Offenbarungen seines Forschersinnes Bedacht zu nehmen haben. Darf doch, um nur daran zu erinnern, der jugendliche Humboldt auch unter Denen angeführt werden, welche das Verständnis der Grundversuche von Galvani und Volta durch neue Experimente, sogar durch solche am eigenen Leibe, die mit nicht geringen Schmerzen verbunden waren, zu vertiefen trachteten. Auch die Chemie geht nicht leer aus. Bereits in Freiberg suchte der Student, weil das Programm der Anstalt noch keine regelmäßigen Vorlesungen über diese Disziplin vorgesehen hatte, die Lektüre der großen französischen Chemiker einzubürgern, und mit Eudiometrie oder Luftanalyse hat er sich wiederholt erfolgreich beschäftigt.

Immerhin glauben wir den Hauptnachdruck auf Humboldts im edelsten Sprachgebrauche polyhistorische Geistesrichtung legen zu müssen. Von früher Kindheit an mit Geschichte und Altertum vertraut gemacht, in Heynes Hörsaal sogar zu ungewöhnlich tiefer Durchdringung der Antike fortgeschritten, und dabei doch in jedem Zolle der begeisterte Naturforscher — so war er, wie vor und nach ihm keiner, dazu berufen, die lebendige Verbindung zwischen Natur- und Geisteswissenschaften herzustellen und für die Gesamtwissenschaft als Mahner zu wirken. Nicht ein loses Aggregat von Einzelfächern soll dieselbe sein, sondern ein lebensvoller Organismus. Die Naturphilosophie hatte in ihrer Art versucht, den von ihr wohl empfundenen Schaden zu verbessern, aber sie hatte bei diesem Bemühen, weil ihr das Wesen der Umwelt immer fremd geblieben war, kläglich Schiffbruch gelitten. Humboldt seinerseits steckte sich und seinem „Kosmos“ kein so hohes Ziel, wie es die Titanen der Schelling-Hegelschen Schule gethan hatten, aber dafür erreichte er es auch vollkommener, als es irgend einem zweiten Forscher möglich gewesen wäre. Was er für seine Zeit gethan, ist heute, angesichts der ungeheuren Zunahme der zu bewältigenden Stoffmasse, unsäglich viel schwieriger noch geworden, aber an der Möglichkeit, daß auch das 20. Jahrhundert sich noch eines ähnlich architektonisch und systematisch angelegten Meisters zu erfreuen haben werde, möchten wir darum doch nicht von vornherein verzweifeln. Jedenfalls steht Alexander v. Humboldt als ein Markstein

naturwissenschaftlicher Forschung und als leuchtendes Vorbild für alle Diejenigen da, die nicht wünschen, daß der Palast der Wissenschaft in ein bloßes Nebeneinander von Kammern zerfallen möge, deren Bewohner Sprache und Sitte der Nachbarn nicht mehr verstehen, ja nicht einmal mehr im Nichtverstehen einen Nachteil erblicken. —

Solche Erwägungen waren es auch, welche unserem Helden es nahe legten, mit seiner Autorität für eine damals neue und noch wenig eingelebte Veranstaltung einzutreten, deren innere Kraft und nationale Bedeutung er sofort richtig erfaßt hatte. Während er seinen dauernden Wohnsitz noch in Paris hatte, waren die Versammlungen deutscher Naturforscher und Ärzte ins Leben gerufen worden, ein treffliches Mittel, um in der Vielheit die Einheit zu wahren und der verbindenden Ideen eingedenk zu bleiben. Oken, der philosophische Naturhistoriker, dessen Zeitschrift „Isis“ viel gelesen ward und Staatsmännern vom Schlage Metternichs Gruseln erregte, hatte den Plan entworfen und seine Verwirklichung in die Wege geleitet; wer Oken kennt, weiß auch, daß ihn, den unerschütterlichen Freiheitsmann und treuen Freund der Burschenschaft, der Wunsch leitete, in trüber Zeit dem von der Obrigkeit verpönten vaterländischen Gedanken wenigstens eine Hinterthüre zu öffnen. So war man 1822 in Leipzig und 1823 in Halle zusammengekommen, und was sich anfänglich sehr unscheinbar angelassen hatte, erwies sich in Bälde als eine kräftige, fortbildungsfähige Schöpfung. Die Münchener Tagung von 1827 beschloß, auf direkte Einladung hin, Berlin zum nächsten Versammlungsorte zu wählen, und der auf Humboldts Rat hörende König gab seine Zustimmung, sehr zum Entsetzen der „Scharfmacher“ seiner Umgebung. Am 18. September 1828 begann die erste Naturforscherversammlung unter Humboldts Präsidium; die Beteiligung war eine unerwartet große, nicht minder die Gewichtigkeit der Namen vieler Teilnehmer. Gauß, Berzelius, Oersted, De Candolle waren erschienen, und die persönlichen Eindrücke, welche jeder der Teilnehmer mit nach Hause nahm, scheinen überwältigende gewesen zu sein. Die Antrittsrede des Präsidenten kennzeichnet ein Zuhörer „als ein Meisterstück ihrer Art an Frei-

mütigkeit, Gehalt, Angemessenheit, Kraft, Schönheit und Kürze"; diesem Urteile werden auch wir Epigonen beipflichten müssen, die wir uns ja jetzt an eine kühlere und geschäftsmäßigere Sprache bei solchen Gelegenheiten gewöhnt haben.

Humboldt hatte Grund, auf den Berliner Kongreß, dessen Seele er unstreitig gewesen war, mit Genugthuung zurückzublicken, und seinen Freunden in Frankreich setzte er beredt und feurig die geschichtlichen Hergänge vor und bei der Versammlung auseinander. Auch später erschien er bei den vereinigten Naturforschern und Ärzten, 1834 in Breslau, 1836 in Jena, 1839 in Göttingen. In der Folgezeit zog er sich zurück, und es war vielleicht nicht nur die Last der Jahre, welche ihn vom Besuche der Versammlungsorte abhielt, sondern es sind ihm auch Zweifel aufgestiegen, ob nicht die mancherlei Äußerlichkeiten und Nebensachen, die nun einmal bei allen menschlichen Veranstaltungen ihre störende Rolle spielen, den Hauptzweck ernstlich gefährden könnten. Ihm, der es in seiner besten Zeit liebte, an allen Idealen, die sein reiches Leben erfüllten, doch auch wieder gutmütig-sarkastische Kritik zu üben, können wir Anwandlungen von greisenhafter Skepsis wohl zu gute halten. Die Naturforscherversammlungen haben ihm ungemein viel zu danken, ihm, der in einer Periode niedrigster Demagogenriecherei die Freiheit der Wissenschaft an sich, die Freiheit der deutschen Wissenschaft im besonderen, auch den Mächtigen dieser Erde gegenüber mit Herzenswärme vertrat.

Durch ihn erstarkt, haben ihn die Naturforscherzusammenkünfte überlebt. Sie gehören jetzt zum eisernen Bestande des deutschen Gelehrtenlebens und haben sich nachmals in Heidelberg eine neue, straffere Organisation gegeben. Einzelne Gelehrtenvereine haben sich allerdings völlig losgelöst, aber es ist die Frage gestattet, ob der Auszug aus dem Vaterhause ihnen auch alle die erhofften Vorteile gebracht hat. Andere Neubildungen dagegen richten es so ein, daß ihre besonderen Sitzungen sich zu denen der Allgemeinheit in Einklang setzen lassen. Letzterem Verfahren dürfte der Vorzug zuzuerkennen sein. Allen Sezessionen zum Trotze, und unbeschadet des Umstandes, daß die Einheit des Vaterlandes seit 1871 der Symbole nicht mehr, wie ehedem, bedarf, wird die

Naturforscherversammlung auch im neuen Jahrhundert noch einen ehrenvollen Platz im deutschen Volksleben behaupten. Franzosen, Engländer, Skandinavier, Russen, Ungarn, Schweizer, Nordamerikaner sind unseren Spuren gefolgt — doch wohl ein Beweis, daß innere Berechtigung nicht fehlt der Schöpfung Okens, welche durch Humboldts Eingreifen die höhere Weihe erhielt und als ein äußeres Zeichen dafür von uns hochgehalten werden möge, daß der von ihm ihr eingehauchte Geist der Zusammengehörigkeit ein Lebenselement der Wissenschaft von der Natur bildet.

Fünftes Kapitel.

Die Astronomie bis zum Jahre 1846.

Der Stand, bis zu welchem die Sternkunde um die Jahrhundertwende gediehen war, ist im ersten Abschnitte übersichtlich zu zeichnen versucht worden. Wir überzeugten uns, daß die Wissenschaft in rastlosem Vordringen begriffen war, daß sowohl die Beobachtung wie die Theorie gerade in den letzten Jahren des vorangegangenen Jahrhunderts große Triumphe feiern durften. Auf ihrem Siegeszuge wollen wir die Astronomie nunmehr auch weiter begleiten, auf einem Eroberungszuge durch die weiten Himmelsräume, der erst da seine Grenze findet, wo die künstlich gesteigerte Sinnesthätigkeit des Menschen vorläufig halt machen muß. Denn warum sollte nicht einer kommenden Zeit die Möglichkeit gegeben sein, auch diese Schranke später noch weiter hinauszurücken? In diesem Kapitel gedenken wir bis zum Jahre 1846 zu gehen; denn in ihm, welches ja der Mitte des Jahrhunderts schon sehr nahe gelegen ist, vollzieht sich ein Fortschritt von so ganz auszeichnendem Charakter, daß durch ihn völlig neue Aussichten in die Zukunft erweckt werden. Hier mag denn also auch einstweilen der Schlagbaum niedersinken.

Das neue Jahrhundert konnte sich des Glückes rühmen, durch eine folgenreiche Entdeckung eingeleitet worden zu sein. Von der anscheinenden Kluft zwischen den Planeten Mars und Jupiter, sowie von der verzweifelten Art ihrer Erklärung durch die Naturphilosophie ist im zweiten Abschnitte gesprochen worden, ebenso

davon, daß dem kecken Versuche Hegels die Strafe auf dem Fuße folgte. Die Astronomen hielten an dem Vorhandensein einer Lücke fest, und F. X. v. Zach, den wir als Meister der Beobachtungskunst bereits zu nennen hatten, dachte an die Begründung einer eigenen Gesellschaft, deren Aufgabe das Suchen nach dem unbekannten Wandelsterne bilden sollte. Das breite Band des Tierkreises sollte in 24 gleiche Teile geteilt, und jeder dieser Bezirke sollte einem Astronomen zu konsequenter Absuchung überwiesen werden. Die 24 Teilnehmer hatte sich v. Zach ausgesucht, und unter ihnen sollte sich G. Piazzi (1746—1826) befinden, ein geborener Veltliner, der dann in neapolitanische Dienste getreten war und 1792 eine wertvolle Beschreibung der seiner Leitung unterstellten Sternwarte von Palermo veröffentlicht hatte. Noch wußte Piazzi nicht, wozu man ihn ausersehen hatte; da beobachtete er zufällig gerade am 1. Januar 1801, also — nach rationeller Zählung — in der das neue Jahrhundert einleitenden Sylvesternacht, einen auf keiner Karte verzeichneten Stern achter Größe im Zeichen des Stiers, der eine starke Eigenbewegung zu besitzen schien. Nachdem drei Wochen lang fortgesetzte Beobachtung hatte erkennen lassen, daß man es da nicht mit einem Fixsterne zu thun haben könne, wurden B. Oriani (1752—1832) in Mailand und Bode in Berlin brieflich von der wichtigen Neuigkeit verständigt, und durch letzteren erhielt auch v. Zach die willkommene Nachricht. Fürs erste hätte man noch an einen schweiflosen Kometen denken können, aber durch parabolische Bahnelemente konnten Piazzis Örter keinenfalls dargestellt werden, und so neigte sich die Meinung allgemach dahin, Piazzis Stern sei der gesuchte Planet. Der Entdecker legte ihm den Namen der sizilischen Inselgöttin Ceres bei; das byzantinische Beiwort „Ferdinandea“ wurde von der Wissenschaft zurückgewiesen. Leider wurde das Gestirn bald nachher, in seiner Sonnennähe, unsichtbar, und es mochte fraglich erscheinen, ob man es überhaupt wiederfinden würde. Die Unterstützung eines großen Mathematikers verhalf zu dieser Neuentdeckung, und gerade ein Jahr nach der ersten Wahrnehmung sah H. M. W. Olbers in Bremen (1758—1840), ein Schüler Kaestners und als Arzt wie als Astronom gleich angesehen, die Ceres an dem Orte, wohin

sie von der Rechnung verlegt worden war. Seitdem hat sich die glücklich Wiederaufgefundene der Beobachtung nicht mehr dauernd zu entziehen vermocht. Und bald sollte sie Schwestern erhalten. Denn mittelst planvoller Durchforschung des Tierkreisgürtels entdeckte Olbers selbst am 28. März 1802 die Pallas, K. L. Harding (1765—1834) 1804 die Juno und wieder Olbers 1807 die Vesta. Statt des einen fehlenden Planeten hatte man somit deren vier erhalten, und die Wahrscheinlichkeit bestand, daß wohl auch noch weitere Funde gelingen möchten. Die Lücke war ausgefüllt, das oben erwähnte, die Planetendistanzen regelnde Gesetz gerechtfertigt. Man trat sofort in Spekulationen darüber ein, wie sich die immerhin auffällige Thatsache der Koexistenz mehrerer Planeten — man nannte sie Planetoiden oder Asteroiden — mit den kosmogonischen Ansichten von Kant und Laplace vereinbaren ließe. Die meisten, so auch Olbers, glaubten sich für die Annahme eine kosmischen Zersprengungsaktes entscheiden zu müssen. Solange man nur von vier kleinen Körperchen dieser Art wußte, wollte man sogar in Versuchen mit Steinkugeln, die durch Explosion einer innen befindlichen Zündmasse angeblich immer in vier Stücke zertrümmert wurden, eine Bestätigung jener Hypothese erblicken.

Welche Bewandtnis hatte es aber, so muß jetzt gefragt werden, mit jener mathematischen Hilfeleistung, ohne deren rechtzeitiges Eingreifen Ceres vielleicht für lange Jahre spurlos verloren gegangen wäre. Dies ist ein sehr bedeutsames Moment, und zwar reicht seine Bedeutung noch weit hinaus über die hier in Rede stehende Angelegenheit. Wir müssen etwas weiter ausholen, um der von Gauß angebahnten Neuerung volle Gerechtigkeit widerfahren lassen zu können. Vorschriften zur Berechnung der Bahnen, welche Planeten und Kometen unter der Einwirkung der vom Zentralgestirne ausgehenden Anziehung beschrieben, hatten die Analytiker der auf Newton folgenden Periode, an ihrer Spitze L. Euler, mehrfach entwickelt, aber bei aller theoretischen Richtigkeit versagten dieselben doch gerade in solchen Fällen, wie sie durch die neuen Planeten, als besonders wichtig, auf die wissenschaftliche Tagesordnung gesetzt worden waren. Im Jahre 1797 hatte Olbers eine sehr einschneidende Verbesserung erdacht, und nun war man

im stande, aus drei beliebig verteilten Beobachtungen die sogenannten Elemente des Kegelschnittes, in dem der Wandelstern seinen Umlauf vollzieht, mit weit größerer Leichtigkeit und Exaktheit zu finden, als dies früher angängig gewesen war. Aber freilich mußten gewöhnlich noch gewisse einschränkende Voraussetzungen gemacht werden, die gerade für Ceres nicht zutrafen, und damit war die Notwendigkeit gegeben, noch einen tüchtigen Schritt über Olbers hinauszugehen. Wie bemerkt, war es Gauß, das bahnbrechende, reformatorische Genie, dem dieser Schritt gelang; seine „Theoria motus corporum coelestium in sectionibus conicis Solem ambientium“ (Hamburg 1809; deutsch, französisch und englisch übersetzt) löst das Fundamentalproblem der theoretischen Astronomie, d. h. eben der Lehre von der Bahnbestimmung, so vollständig, daß die Folgezeit keinerlei tiefer gehende Veränderung mehr an den entwickelten Methoden anzubringen genötigt war. Ein günstiges Geschick ließ letztere auch gleich ihre Feuerprobe bestehen, so daß sich ihr Wert auch Denen sozusagen von selbst aufdrängte, denen das volle Verständnis des gewaltigen mathematischen Apparates versagt blieb.

Wir haben hiermit gezeigt, daß gerade die ersten Jahre des neuen Säkulums der Astronomie eine reiche Ernte gebracht hatten; der wissenschaftliche Besitzstand hatte sich erweitert; die Kunst, dem Himmel seine Geheimnisse abzusehen, war in ein neues Stadium, in das der bewußten, nicht bloß zufälligen Entdeckung, getreten; die Macht der Analysis hatte sich von neuem im glänzendsten Lichte gezeigt. Aber auch die topographische Astronomie, die aufmerksame und messende Betrachtung der Außenseiten der Weltkörper, lieferte ununterbrochen bemerkenswerte Ergebnisse. Zwar neigte sich die Herrschaft des Spiegelteleskopes bereits ihrem Ende zu, denn eine große Umwälzung war im Gange, aber noch einmal entfaltete das ältere Verfahren unter den Händen geschickter Beobachter seine Vollkraft. Neben William Herschel, der auch im 19. Jahrhundert rüstig zu beobachten fortfuhr, war ein zweiter Astronom von hingebender Ausdauer auf dem Plane erschienen, J. H. Schroeter (1745—1816), ein Verwaltungsbeamter von umfassender Bildung, der seit 1778 in dem damals zu Braunschweig

gehörigen Flecken Lilienthal nächst Bremen wohnte und seine Kenntnisse ebenso wie sein stattliches Vermögen ganz in den Dienst der Himmelsforschung stellte. Seine dort erbaute Sternwarte, mit neuen Spiegelinstrumenten ausgestattet, wirkte lange Jahre, bis dann 1813, als die Wogen des Befreiungskrieges auch diese friedliche Stätte überfluteten, französische Soldaten Ort und Observatorium niederbrannten. Der alte Mann konnte sein schweres Schicksal nicht lange überleben; er verließ den Platz seines ruhmvollen Wirkens mit gebrochenem Herzen und starb 1816 in seiner Vaterstadt Erfurt.

Herschels wie Schroeters hervorragendste Arbeiten gehören dem 18. Jahrhundert an, aber es ist doch auch für das 19. noch genug übrig geblieben. Der Erstere hat bei seinen späteren Arbeiten vorzugsweise die Stellarastronomie im Auge gehabt. Er arbeitete seinen trefflichen Katalog der Nebelflecke aus, verfolgte konsequent die Bahnen der Doppelsterne, von denen er noch in seinem Todesjahre 145 neue Positionen mitteilte, und bestimmte genauer den Apex, d. h. den Punkt, gegen den sich unser Sonnensystem im Weltenraume bewegt. Eine neue, erst in unseren Tagen wieder aufgenommene und auch für die Zukunft viel versprechende Forschungsrichtung bahnte er an durch seine Sternaichungen; er ermittelte, wie viele Fixsterne sich an verschiedenen Teilen des Firmamentes in dem Gesichtsfelde seines Riesenfernrohres zeigten, und schloß daraus auf die räumliche Verteilung der Sternsysteme mit besonderer Berücksichtigung der Gegend der Milchstraße. Nebenher gingen Beobachtungen über Kometen, über Saturn, seinen Ring und seine Monde, über Uranus und Vesta. Das Jahr 1801 brachte die wohlbekannte Hypothese über die Sonnenflecke, welche fast sechzig Jahre lang so gut wie unangefochten blieb, allerdings jedoch schon 1774 von A. Wilson und, minder bestimmt, 1771 von dem Württemberger Schülen (1722—1790) angedeutet worden war. Die Sonne ist danach eine absolut dunkle, aber von einem Lichtmantel, der Photosphäre, umgebene Kugel; wenn die Hülle gelegentlich zerreißt, blickt man auf den dunklen Kern hinab, und der Halbschatten, den man zumeist das Innere des Sonnenflecks umgeben sieht, rührt davon her, daß die Ausstrahlung in den

tieferen Lichtschichten eine minder kräftige ist. Die Sonnenfackeln gegenteils bilden sich da, wo die Lichtmaterie sich lokal zusammendrängt.

W. Herschels treue Helferin war bis zu seinem Tode die Schwester Karoline, die sich indessen auch durch ihren Sternkatalog und durch die Entdeckung von nicht weniger als acht Kometen eine selbständige Stellung neben ihrem Bruder erworben hat. Völlig in des Vaters Fußstapfen trat auch Sir John Herschel, der übrigens auch als Mathematiker und Physiker thätig war, der Astronomie mithin einen nur beschränkten Teil seiner — auch von öffentlichen Verpflichtungen stark eingeengten — Zeit zu widmen in der Lage war. Seine beiden astronomischen Lehrbücher (London 1833 und 1849) sind noch heute, unter gründlich veränderten äußeren Verhältnissen, vorzüglich für die Einführung des Anfängers in eine neue Gedankenwelt geeignet. Mit J. South (1785—1867) zusammen lieferte er ein neues, exaktes Verzeichnis von 380 Sternpaaren und Sterntripeln. Weitaus am bekanntesten machte ihn seine astronomische Reise nach Südafrika, wo er, gewissenhaft die väterliche Erbschaft erweiternd, von 1834 bis 1838 mit seinen Teleskopen die physische Beschaffenheit des Südhimmels studierte. Die Engländer erinnern sich seiner noch jetzt dankbar, weil er ihnen, zusammen mit D. Brewster (1781 bis 1868) und D. Lardner (1793—1859), das großartige Geschenk der „Cyclopaedia" in 132 Duodezbänden machte, die erste gelungene Verpflanzung des Werkes der französischen „Encyklopädisten" auf fremdländischen Boden. Es sei erlaubt, gleich hier beizufügen, daß auch Johns Sohn Alexander Herschel (geb. 1836) an der Familienüberlieferung festhielt und sich mit regem Eifer an den neueren, späteren einläßlich zu schildernden Untersuchungen über Meteorschwärme beteiligte.

Um auf Schroeter zurückzukommen, sei gleich eingangs bemerkt, daß ihn wesentlich die Oberflächen der uns näheren Weltkörper fesselten. In diesem Sinne hat er Spezialschriften („Fragmente") über die Sonne, die Venus, den Saturn und Merkur herausgegeben und insbesondere die Rotationselemente der Planeten suchte er mit lobenswertem Eifer zu bestimmen. Im Vordergrunde

seines Interesses stand von je der Mond. Ein späterer Selenograph hat, was ein Konkurrent immer vermeiden sollte, die unleugbar vorhandenen Mängel in Schroeters Methodik der Mondbeachtung arg übertrieben, denn dieselbe hat zweifellos auch positive Leistungen zur Folge gehabt. Die Rillen, jene merkwürdigen, geradlinigen Mondgebilde, die selbst jetzt noch, so genau man sie seitdem kennen gelernt hat, keine ganz zureichende Erklärung gefunden haben, treten zuerst in den Lilienthaler Mondzeichnungen deutlicher hervor. In dem durchaus nicht hoffnungslosen Streben jedoch, physische Veränderungen auf dem Monde nachweisen zu können, mag Schroeter wohl die eigentliche Kartierungsarbeit, welche seit Tob. Mayer keinen nennenswerten Fortschritt gemacht hatte, etwas zu gering geschätzt haben. Seine Messungen der relativen Abstände vieler Mondberggipfel von der benachbarten Ebene sind wertvoll, während die Versuche, auch andere Planetenkugeln als von meßbaren Bergen besetzt aufzuzeigen, nicht glücklich waren.

Wir sagten eben, es habe sich gegen die fast ausschließliche Anwendung der Spiegelteleskope in der beschreibenden Astronomie zu Beginn des Jahrhunderts eine Reaktion geltend gemacht. Damit soll nicht etwa behauptet werden, es sei später von ersterem optischem Hilfsmittel gar kein Gebrauch gemacht worden. Hat doch Lord Rosse auf seinem Schlosse Birr Castle in Irland 1845 einen „Leviathan“ dieser Art aufgestellt, dessen Spiegel 3800 Kilogramm wog, und welches denn auch die Zerlegung einzelner bislang unauflösbarer Nebelmassen in Sternhaufen ermöglichte; sind doch auch nachher noch durch Foucault und v. Steinheil versilberte Glasspiegel von außerordentlicher Bildschärfe hergestellt worden. Trotz alledem bleibt es wahr, daß die eigentliche Glanzzeit der katoptrischen Fernrohre bald ihr Ende erreicht hat. Daß es so kam, verdankt man dem trefflichen Künstler und Denker, dessen Grabstein in München nicht mit Unrecht die Worte trägt: „Er hat uns die Sterne näher gebracht.“ Aus sehr gedrückten Verhältnissen emporgewachsen, trat Joseph Fraunhofer (1787 bis 1826) im Jahre 1806 in das mechanisch-mathematische Institut ein, welches der durch seine Kreisteilungsmaschine bekannt ge-

wordene G. v. Reichenbach (1772—1826) und der Nationalökonom J. v. Utzschneider (1763—1840), langjähriger Bürgermeister der Stadt München, geschaffen hatten. Dasselbe wurde 1809 nach dem durch die Säkularisation frei gewordenen Kloster Benediktbeuern verlegt und in eine speziell optische Anstalt umgewandelt. Fraunhofer trat als Teilnehmer, zugleich mit dem Mechaniker J. Liebherr (1767—1840), ein und verschrieb sich aus der Schweiz den ausgezeichneten Glasschmelzer P. L. Guinand (1744—1824), der bis 1814 in Bayern blieb und an den bald weltberühmten Leistungen Benediktbeuerns unzweifelhaft einen sehr ehrenvollen Anteil hatte. Es scheint, daß dieser Umstand durch die Schuld v. Utzschneiders, eines Mannes von außerordentlich entwickeltem Selbstgefühle, absichtlich verkannt worden ist; aus Rudolf Wolfs Darstellung des Sachverhaltes geht hervor, daß Fraunhofer in der Technik der Flintglasbereitung von Guinand Vieles lernen konnte, wogegen natürlich sein Hauptverdienst, der Schliff der Linsen in früher unerreichter Vollkommenheit, durch jene Unterstützung nicht die mindeste Schmälerung erfährt. Denn er war eben gewiß der erste theoretische Optiker seines Zeitalters, und einer der nächsten Abschnitte wird seinen Arbeiten über die Lehre vom Lichte die gebührende Würdigung angedei henlassen. Seit 1818 war Fraunhofer selbständiger Leiter der Werkstätte in Benediktbeuern, aus welcher die Refraktoren für Bogenhausen (die Münchener Sternwarte) und Dorpat, sowie das berühmte Heliometer für Königsberg i. Pr. hervorgingen, Instrumente, welche den Reflektoren sowohl an Reinheit und Vergrößerung der Bilder, wie nicht minder an Bequemlichkeit und Sicherheit der Handhabung weit überlegen waren. Als das Institut 1823 nach München zurückkam, setzte dessen bisheriger Vorstand als Akademiker und Professor seine Thätigkeit daselbst fort, starb aber leider in dem nämlichen Jahre, in welchem ihm die Überpflanzung der altbayerischen Landesuniversität von Landshut in die Hauptstadt einen neuen und größeren Wirkungskreis gewährleisten zu wollen schien.

München ist dem Ruhme, ein Vorort der astronomischen Hilfswissenschaften zu sein, auch nach einer anderen Seite hin treu geblieben. Wiederum Fraunhofer war es, der die seit Newtons

„Optice“ nicht wesentlich geförderte Lehre vom Spektrum unter ganz neuen Gesichtspunkten bearbeitete und so einer Entdeckung den Boden bereitete, aus welcher, wie sich bald zeigen wird, die moderne Astrophysik erwachsen sollte. Über achtzig Jahre hatte man sich damit begnügt, zu wissen, daß ein dünnes Lichtstrahlenbündel, durch ein prismatisches Glasstück auf eine weiße Wand fallend, hier zu einem Lichtbande verbreitert wird, in welchem man die sogenannten sieben Regenbogenfarben — in Wirklichkeit ist die Siebenzahl ein ganz zufälliger Umstand — unterscheiden kann. Erst 1802 hatte Wollaston in diesem Farbenstreifen, dem sogenannten Spektrum, ein paar dunkle Linien wahrgenommen, welche auf den begrenzenden Parallelen senkrecht standen. Doch war dem zunächst noch wenig Gewicht beigemessen worden, und erst der Münchener Optiker erweiterte die Entdeckung dahin, daß die Zahl dieser schmalen schwarzen Streifen eine sehr erhebliche, daß aber zugleich jedem einzelnen ein ganz bestimmter Platz innerhalb des Spektrums angewiesen ist, so daß, wenn sein Ort durch genaue Winkelmessung ein für allemal festgelegt ward, er leicht immer wieder aufgefunden werden kann. Schon 1815 war, wie seine erste Mitteilung beweist, der Entdecker mit diesen Thatsachen ganz im reinen, aber einem größeren Publikum wurden dieselben erst bekannt, als 1821 eine Abhandlung darüber in Schumachers viel gelesener Zeitschrift erschien — bezeichnenderweise in französischer Übersetzung. Die dankbare Nachwelt kennt die erwähnten Streifen des Farbenbildes, in denen offenbar eine Lichtverschluckung, eine Absorption sich bemerklich macht, als Fraunhofersche Linien, und es wird sich zeigen, welch mächtigen Einfluß deren nähere Betrachtung auf die Vorstellungen übte, welche man sich von der Zusammensetzung naher und ferner Körper bilden lernte. Daß der treffliche Mann, dem die Erweiterung des menschlichen Gesichtskreises in so vielen Beziehungen zum höchsten Danke verpflichtet ist, schon mit einunddreißig Jahren — am 7. Juni 1826 — diese Zeitlichkeit verlassen mußte, lag ebenfalls in den Umständen; die langjährige Arbeit am Schmelzofen hatte die an sich schon zarte Gesundheit Fraunhofers unheilvoll untergraben.



Friedrich Wilhelm Bessel

E. Mandel sculps.

Die ersten drei Jahrzehnte des Jahrhunderts gehörten hauptsächlich der physischen Astronomie; mit außerordentlich verbesserten optischen Hilfsmitteln versehen, suchte man diese auch nach Kräften auszunützen. Die gewaltige Gestalt eines Gauß steht hier, wie in der Mathematik, einigermaßen vereinzelt da; eben deshalb, weil die übrigen Astronomen ihm zwar für die folgenreiche Unterstützung, welche seine Bahnberechnungsmethoden ihnen gewährt hatten, aufrichtig dankbar waren, aber doch zumeist nicht daran denken konnten, mit einem solchen Beherrscher des analytischen Werkzeuges in Wettbewerb treten. Ein Mann, der sich als Theoretiker neben Gauß hätte stellen und doch zugleich auch Anspruch darauf hätte erheben zu können, in der beobachtenden Astronomie unter den Allervordersten zu stehen — ein solcher Mann hatte längere Zeit gefehlt, aber er war inzwischen herangewachsen, und seit 1820 richteten sich aller Augen nach Königsberg i. Pr., wo Friedrich Wilhelm Bessel eine Schule zu bilden im Begriffe stand, wie eine solche auf deutschem Boden bisher zu den unbekannten Dingen gehört hatte.

Der Lebensgang dieses außerordentlichen Menschen war ein ungewöhnlicher gewesen. Geboren 1784 zu Minden (Westfalen), hatte er auf dem Gymnasium keine glänzenden Geschäfte gemacht, und als Handlungslehrling in einem großen Hause zu Bremen schien ihm jedenfalls nur eine nicht gerade wissenschaftliche Zukunft beschieden zu sein. Der Wunsch jedoch, später selbst ein Kauffarteischiff in ferne Zonen begleiten zu dürfen, veranlaßte ihn zu eifrigen sprachlichen, geographischen und nautischen Privatstudien, und diese letzteren führten ihn zur Sternkunde, die er sehr bald aus den besten vorhandenen Quellen kennen zu lernen bestrebt war. Bald war er soweit gelangt, nach alten Angaben, die v. Zach in seiner viel gelesenen „Monatl. Korrespondenz zur Beförderung der Erd- und Himmelskunde“ veröffentlicht hatte, die Bahn eines im Jahre 1607 erschienenen Kometen berechnen zu können, und da damals, wie wir schon erwähnten, die Hansestadt einen ganz hervorragenden Fachmann, den Doktor Olbers, zu ihren Bewohnern zählte, so hatte der junge Bessel einen Berater, wie er einen besseren nicht wünschen und finden konnte. Derselbe

nahm auch die Rechnungen, welche der eifrige Anfänger ihm überreichte, mit freudigem Interesse entgegen, sandte die Arbeit zur Veröffentlichung an v. Zach und bewirkte, daß, als der im nahen Lilienthal lebende Schroeter einen Gehilfen — Inspektor — für sein Observatorium brauchte, der junge Bessel diese zur Heranbildung eines geschickten Beobachters sehr geeignete Stelle erhielt. Vier Jahre hat er hier bei sehr magerem Gehalte ausgehalten. Als aber 1813 die Königsberger Sternwarte erbaut worden war, ernannte die preußische Regierung, die in Olbers und Gauß treffliche Ratgeber hatte, den erst 27 Jahre zählenden jungen Mann zum Professor und Leiter der neuen Anstalt. Ein Zeitraum von 33 Jahren, ein starkes Menschenalter, wird durch Bessels rastlose Wirksamkeit ausgefüllt, und ihm ist es zu danken, daß Deutschland damals in der Astronomie eine führende Stellung errang. Das Jahr 1846, bis zu welchem gegenwärtiges Kapitel sich zu erstrecken hat, ist allerdings nicht deshalb als zeitliche Grenze gewählt worden, weil es Bessels Todesjahr ist, aber es trifft sich eigentümlich, daß die erste Periode in der Entwicklung der Astronomie des 19. Jahrhunderts, wie sie durch sachliche Gründe sich fixieren ließ, gerade mit der Lebenszeit des führenden Geistes sich deckt.

In dieser merkwürdigen Übereinstimmung wird auch unsere Berechtigung dafür liegen, daß wir dieses Mannes wissenschaftliche Lebensarbeit jetzt gleich als ein Ganzes betrachten und in einem Zuge die vielen Bereicherungen zur Kenntnis bringen, welche ihm die Astronomie sachlich und methodisch verdankt. Schon in frühester Zeit hatte sich ihm die Überzeugung aufgedrängt, daß eine möglichst genaue Bestimmung der Fixsternörter die allerwichtigste Aufgabe des Astronomen sei; er stand in dieser Hinsicht völlig auf gleichem Boden mit den berühmten Vorstehern der Greenwicher Sternwarte, Flamsteed, Halley, Bradley, Maskelyne, J. Pond (1767—1838), deren amtliche Thätigkeit ja wesentlich durch jene Grundforderung bestimmt gewesen war. Hatte man das Rohmaterial der Beobachtungen, so galt es, dieselben zu „reduzieren“, d. h. ebenso von den störenden Einflüssen der Refraktion, Aberration und Nutation, wie auch von den mancherlei unvermeidlichen In-

strumentfehlern zu befreien. Die Art und Weise, wie Bradley im Jahre 1762 seinen Sternkatalog — 3222 Positionen — hergestellt hatte, mußte als mustergiltig und vorbildlich gelten, und wirklich knüpfte an ihn, den er „den unvergleichlichen Mann“ nannte, die erste größere Arbeit Bessels an. Die „Fundamenta astronomiae“ von 1818 und die „Tabulae Regiomontanae“ von 1830 geben die Summe einer rastlosen und erfolgreichen Bemühung in diesem Sinne wieder. Was der Meister noch nicht selbst zu vollenden imstande war, überließ er seinem Lieblingsschüler Argelander, dessen dann bei späterer Gelegenheit einläßlich zu gedenken sein wird.

Eine zweite fundamentale Untersuchung folgte der ersten, und auch sie stellt in den Annalen unseres Faches einen Markstein dar. Es handelte sich um die sogenannte Fixsternparallaxe, d. h. um die Frage, ob durch den gewaltigen Zwischenraum, der die Örter der Erde an zwei um ein halbes Jahr auseinanderliegenden Terminen trennt, eine gewisse Verschiebung der Gestirne bedingt ist oder nicht. Bereits Coppernicus hatte gefühlt, daß, so lange eine solche Ortsveränderung nicht festgestellt ist, sein Satz von der jährlichen Bewegung der Erde des eigentlichen Beweises entbehre, und als im 18. Jahrhundert die Beobachtungsmethoden sich verfeinerten, fing das Suchen nach Parallaxen zu den Lieblingsbeschäftigungen der Astronomen zu gehören an. Bradley, Piazzi, G. Calandrelli (1749—1827), vor allem J. Brinkley in Dublin (1763—1835) sind hier in vorderster Reihe zu nennen, und zumal der letztgenannte glaubte seiner Sache ganz sicher zu sein, allein die mauerfest auf ihr Ziel gerichteten Fernrohre Ponds ergaben anscheinend absolute Stabilität der Fixsterne, und so war noch 1824 das Ergebnis ein durchaus ungünstiges. Damals trat F. G. W. v. Struve (1793—1864) an das Problem heran; seit 1817 Direktor der trefflich ausgerüsteten Dorpater Sternwarte, hatte er sich frühzeitig in den Besitz eines Fraunhoferschen Refraktors gesetzt und durfte so hoffen, daß, wenn überhaupt ein Erfolg im Bereiche der Möglichkeit liege, ihm derselbe zufallen müsse. Seit 1824 beobachtete Struve hauptsächlich die Doppelsterne, und diese meist lichtschwachen Objekte hat er uns ja, zu-

sammen mit W. Herschel, weitaus am genauesten kennen gelehrt. Gerade der treffliche Deutschengländer hatte auch angedeutet, wie man sich der Sternpaare mit verhältnismäßig größter Aussicht auf ein besseres Resultat bedienen könne. Durch bloße Positionswinkel kann man die Differenz der Parallaxe der beiden — optisch oder physisch — miteinander verbundenen Sterne direkt ermitteln, und wenn man dann die nahe liegende Folgerung zuläßt, daß der minder helle Stern auch der weiter entfernte sei, so wird man dessen Parallaxe ohne nennenswerten Fehler gleich Null setzen und den Minuenden der Differenz als die gesuchte Größe ansprechen dürfen. Struve prüfte nach diesem Verfahren den schönen, thatsächlich doppelten Stern Wega in der Leier und fand für ihn eine Parallaxe, die allerdings noch etwas zu groß, immerhin aber doch reell war. A. Hall hat sie nachmals noch genauer bestimmt.

Man mußte also nach Struves im Jahre 1840 bekannt gewordener Veröffentlichung zugeben, daß der Winkel, unter welchem, von einem Fixsterne aus gesehen, der Halbmesser der Erdbahn erscheint, zwar sehr, aber doch nicht unmeßbar klein ist. Etwas früher schon, nämlich 1837, war Bessel mit einer entsprechenden Mitteilung hervorgetreten, die sogar ein noch höheres Maß von Vertrauen verdiente, weil das Instrument, welches zur Bestimmung des winzigen Richtungsunterschiedes gedient hatte, sich besser denn irgend ein anderes gerade so feinen Messungen anpaßte. Es war das schon genannte Heliometer, ein Fernrohr, dessen Objektivlinse längs eines vertikalen Durchmessers durchschnitten ist; gilt es dann, irgend eine Distanz an der Himmelskugel zu messen, so verschiebt man durch Drehen einer Mikrometerschraube die eine Bildhälfte, bis eine Berührung stattfindet, und liest an der Schraubenteilung unmittelbar den der Drehung entsprechenden Winkelwert ab. Fraunhofers Meisterwerk war, dank der nie fehlenden Vermittlung A. v. Humboldts, für Königsberg erworben worden, und unter Bessels Händen mußte es hier den Nachweis seiner Befähigung für die feinsten astronomischen Aufgaben erbringen. Aus ganz anderen Gründen hatte Bessel schon 1812 auf den Doppelstern Nr. 61 im Sternbilde des Schwans als auf ein genauerer Kenntnisnahme sehr würdiges Forschungsobjekt hingewiesen, und

nunmehr zeigte sich an ihm eine Parallaxe, die als reell betrachtet werden durfte. Berechnet man aus ihr nach bekannten trigonometrischen Regeln die Entfernung des Gestirnes, so ergiebt sich diese ungefähr als das 600000fache der astronomischen Normaldistanz, des Abstandes der Erde von der Sonne. Die Größe dieser Strecken will nicht viel besagen gegenüber der Thatsache, daß der Umlauf der Erde um die Sonne dadurch von einer Hypothese zur unumstößlichen Erfahrungswahrheit erhoben war. Freilich mußte auch schon die Entdeckung der Abirrung des Lichtes zu Gunsten einer translatorischen Bewegung der Erde interpretiert werden.

Erfreulicherweise giebt es aber doch auch Parallaxen von einer etwas bedeutenderen Größe, und eine solche ist nahezu gleichzeitig aufgefunden worden, allerdings an einem Sterne, der in Europa zur Zeit — vor etwa 2000 Jahren lagen infolge der sogenannten Präzession die Dinge anders — unsichtbar ist. Der Schotte Th. Henderson (1798—1844), damals Direktor der Sternwarte der Kapstadt, in deren Leitung ihm später sein gleichfalls sehr verdienstvoller Landsmann Th. Maclear (1794—1879) folgte, beobachtete den hellsten Stern, der überhaupt am Firmamente erstrahlt, α Centauri, von 1837 an ausgesetzt und fand für ihn — wahrscheinlich um ein Viertel zu groß — eine Jahresparallaxe von einer Bogensekunde, zu welcher beiläufig eine Erddistanz von 1 Billion geogr. Meilen gehören würde. Als dieser neue Triumph der astronomischen Präzisionsmessung bekannt wurde, bestätigte er die Besselsche Parallaxe in sehr willkommener Weise.

Damit haben wir zwei besonders wichtige Punkte in der reichen Ruhmestafel des Königsberger Astronomen erledigt, und es mag geboten erscheinen, seine mannigfaltigen anderweiten Leistungen im Zusammenhange kurz zu besprechen. Er bestimmte sorgfältig die Lage des Saturnringes gegenüber dem Hauptplaneten, gab einen neuen exakten Wert für die Aberrationskonstante, untersuchte eingehend die Ursache der Beobachtungsfehler, unter denen er ungleiche Abstände der Teilungsstriche am Limbus der Kreise und Durchbiegung des Fernrohres obenanstellte, verbesserte beträchtlich die Methoden zur Ermittlung der geographischen Länge, beschäftigte sich, neben Gauß, als erster unter den Deutschen,

mit dem bislang fast ausschließlich von französischen Mathematikern gepflegten Störungskalkul und wandte denselben auf die Berechnung von Kometenbahnen an. Die Schweifsterne haben auch sonst seine Aufmerksamkeit auf sich gezogen, und anläßlich der Erscheinung eines sehr merkwürdigen Exemplares im Jahre 1835 gelangte Bessel zu einem Schlusse, der sich in der Folgezeit als eine wahre Prophezeiung erwies. Es war derselbe Komet, durch dessen Vorausberechnung Halley dereinst die kometarische Astronomie recht eigentlich geschaffen hatte; denn bis dahin war man durchweg geneigt gewesen, diese Gebilde als atmosphärische, der Erde benachbarte Meteore zu betrachten, und nur wenige Auserwählte, wie etwa ein Peter Apian und Kepler, hatten die himmlische Natur der Kometen klar erkannt. Bessel stellte sehr genaue Beobachtungen an und kam zu dem Schlusse, daß hier einer der Fälle vorliege, in denen die Schwerkraft nicht zur zureichenden Erklärung aller Einzelerscheinungen ausreiche, in denen vielmehr die Mitwirkung einer Polarkraft keinem Zweifel unterliege. „Ich glaube," schrieb er an seinen väterlichen Freund Olbers, „daß das Ausströmen des Schweifes der Kometen ein rein elektrisches Phänomen ist. Körperchen auf dem Kometen und der Komet selbst werden durch den Übergang von größerer zu geringerer Entfernung von der Sonne elektrisiert und dadurch abgestoßen." Wie erwähnt, ist diese Vermutung von der Wissenschaft vollinhaltlich bestätigt worden, und wenn wir späterhin eine Durchmusterung der einzelnen einschlägigen Hypothesen vornehmen, so wird uns der gleiche Grundgedanke in mannigfacher Einkleidung entgegentreten.

Auch noch nach einer anderen Seite hin ist durch Bessel eine ganz neue Forschungsrichtung inauguriert worden; er begründete die sogenannte „Astronomie des Unsichtbaren". Seit 1834 verfolgte er gewisse minimale Ortsveränderungen, welche er am Sirius wahrgenommen zu haben glaubte, und dehnte diese Beobachtungen auch auf den einer gleichen Unbeständigkeit verdächtigen Prokyon aus. Um 1844 war er, einem an Humboldt gerichteten Schreiben zufolge, darüber mit sich im reinen, daß jeder dieser beiden Fixsterne Glied eines Binarsystemes sei, und daß das andere, massenkräftigere Glied wegen Lichtschwäche sich den Augen entziehe.

Man nahm die Nachricht mit einem Skeptizismus auf, der nur eben durch den Namen dessen, von dem sie ausging, gemildert ward, aber auch diesmal mußte die Nachwelt bestätigen, was ein großer Geist geahnt hatte; im Jahre 1862 fand A. Clark den schwach leuchtenden Gefährten ganz an der Stelle auf, an welche ihn eine auf Bessels Angaben beruhende Berechnung verlegt hatte; die näheren Umstände dieser Entdeckung finden im 13. Abschnitte ihren natürlichen Platz. Auch die Bahn des Prokyon ist seitdem, zumal durch Auwers, genau bestimmt worden. Bessel war auch einer anderen Entdeckung sehr nahe gekommen, welche späterhin viel von sich reden machen sollte. Der französische Astronom A. Bouvard (1767—1843), der zusammen mit J. F. Bürg (1766—1834) die im Jahre 1798 von der Pariser Akademie gestellte Preisaufgabe einer exakteren Theorie der Mondbewegung gelöst hatte, stellte in den Umlaufsverhältnissen des damals äußersten Planeten Uranus gewisse einstweilen unerklärbare Unregelmäßigkeiten fest, und Bessel beschloß, diese merkwürdigen Anomalien, welche dem Newtonschen Gesetze Hohn zu sprechen schienen, einer gründlichen Prüfung zu unterziehen. Ihm selber mangelte jedoch die Zeit dazu, und darum übertrug er die äußerst umständlichen Rechnungsarbeiten seinem Schüler F. W. Flemming (1812 bis 1845), der jedoch leider nur noch kurze Zeit zu leben hatte. Als er in sehr jungen Jahren gestorben war, blieb das Material unausgenützt, und es dauerte noch über ein Jahrzehnt, bis eine Wiederaufnahme, dann freilich mit dem allerglücklichsten Erfolge, möglich wurde.

Die Fixsternstudien Bessels und Struves hatten der sogenannten Stellarastronomie eine besonders geachtete Stellung innerhalb der Gesamtwissenschaft verschafft, und so ward denn jetzt auch eine weitere sehr schwierige Frage in Angriff genommen, die nämlich, ob gewisse nur scheinbare Ortsveränderungen in der Fixsternwelt für eine fortschreitende Bewegung des Sonnensystemes im Weltenraume sprächen. Wir bemerkten eingangs, daß die Eigenbewegung der Fixsterne seit den letzten Jahren des vergangenen Jahrhunderts viel erörtert worden war; zum Teile wußte man jetzt, daß sehr viele jener Gestirne ihren Namen thatsächlich nicht

mit vollem Rechte führten, aber es war eben doch auch denkbar, daß manche Bewegung nur scheinbar und daß vielmehr der Ort, von dem aus die Beobachtung erfolgte, selbst bewegt war. Tobias Mayer der ältere hatte ein höchst einfaches Mittel in Vorschlag gebracht, sich über das vermutete Fortschreiten der Sonne und ihrer Begleiter zu vergewissern. Wer je in einer langen Baumzeile dahinwanderte, dem ist bekannt, daß vor ihm die Bäume auseinanderweichen, hinter ihm aber züsammenrücken. Untersucht man also eine Tabelle der an Fixsternen konstatierten Eigenbewegungen und findet, daß in der Nähe eines bestimmten Himmelsraumes eine Annäherung und in einem um beiläufig 180° abstehenden Bezirke eine Distanzvergrößerung der Sterne stattfindet, so ist der erstgenannte der Apex, der andere der Antiapex der Sonnenbewegung. W. Herschel hatte eine erstmalige Analyse der sichergestellten Verschiebungen von Fixsternen vorgenommen und sich auf Grund derselben dahin ausgesprochen, daß der Agex im Sternbilde des Herkules liege. Andere namhafte Fachmänner, auch Bessel, hielten Herschels Schlüsse nicht für zwingend; jedenfalls hatte man es aber mit einer sehr wichtigen Sache zu thun, und so entschloß sich die Akademie in St. Petersburg, 1837 ein entsprechendes Thema für ihre Preisbewerbung zu stellen. F. W. A. Argelander (1799—1875), damals in Åbo, rang um den Preis mit einer Untersuchung von fast 400 Fixsternbewegungen und bestätigte das Herschelsche Ergebnis. Bald nachher haben O. v. Struve (geb. 1819) und Th. Galloway (1796—1851) neue Belege im gleichen, positiven Sinne geliefert. Wir werden die neueren Phasen dieser Theorie weiter unter zu beleuchten haben.

Es war zu erwarten, daß an eine Erkenntnis, welche das Zentralgestirn unseres engeren Weltsystemes aus ihrem Ruhesitze entfernte und auch die Sonne den Wandelsternen zugesellte, die buntesten Hypothesenbildungen anknüpfen würden. Was Lamberts „Kosmologische Briefe“ aus dem Jahre 1760 divinatorisch voraus verkündet hatten, war nun Wirklichkeit geworden, und man konnte weiter fragen, ob denn wohl eine Zentralsonne vorhanden sei, zu der unsere Sonne in der Beziehung eines Planeten stehe. Verschiedene Himmelsregionen wurden mit der höheren Würde be-

kleidet. Wohl den meisten Fleiß wandte an die so bezeichnete Aufgabe H. Maedler in Dorpat (1791—1874), der sich durch autodidaktische Strebsamkeit vom einfachen Berliner Elementarlehrer — seine erste Veröffentlichung war ein Leitfaden der Schönschreibekunst — bis zum Nachfolger W. v. Struves in der Leitung einer der ersten Sternwarten Europas aufgeschwungen hatte. Allerdings war das Ziel, welches Maedler sich gesteckt hatte, ein allzu hohes, ein unerreichbares gewesen. Er verlegte die Zentralsonne in das Sternbild der Plejaden, wo wiederum Alkyone das dominierende Massenzentrum sein sollte. Diese vermeintliche Entdeckung ist in populären Schriften mit Übereifer verbreitet worden, hat sich aber in kompetenten Kreisen niemals Anerkennung erworben. Man kann bereitwillig einräumen, daß in der Nähe des Siebengestirnes eine lebhaftere Steigerung der Eigenbewegungen von wesentlich übereinstimmender Bewegungstendenz bemerkbar wird, aber von da ist für die nüchterne Kritik noch ein weiter Weg bis zu der von Maedler gezogenen Schlußfolgerung.

Die Natur der Körper unseres Systemes war in diesem Zeitraume, auch nachdem der auf diesem Gebiete besonders thätige Schroeter vom Schauplatze abgetreten war, unausgesetzt der Gegenstand rühriger Forschung geblieben. Die Sonne freilich galt den meisten noch immer als der dunkle, von einer Lichthülle umflossene Körper, für den Herschel ihn erklärt hatte, und A. v. Humboldt ist bis zu seinem Tode ein Anhänger dieser physikalisch unhaltbaren Lehre geblieben. Aber schon fing man an, die leider seltenen Vorkommnisse einer totalen oder ringförmigen Sonnenfinsternis zu Fragestellungen zu benützen, auf welche nicht immer eine der herrschenden Ansicht günstige Antwort erfolgte. Ein solches Phänomen im Mai 1836 führte zur Auffindung der sogenannten „Bailyschen Perlen“, welche sich dann jedoch als eine wesentlich optische, auf die Gebirgsauszackung der Mondscheibe zurückzuführende Inanspruchnahme des Gesichtssinnes erwiesen. Aber man war nun begierig geworden, ähnliche Vorkommnisse beobachten zu können, und als deshalb für den 8. Juli 1842 eine Sonnenfinsternis in Aussicht stand, welche in einem sehr großen Teile Europas total werden sollte, wanderten die meisten bekannten Astronomen an

Orte, die ihnen eine günstige Umschau gewährleisteten. Bei dieser Gelegenheit wurde denn auch zum erstenmale die sogenannte Korona mit den aus ihr aufflammenden Protuberanzen gesehen, über deren weitere Erforschung der 14. Abschnitt sich zu verbreiten haben wird; erstere ein Lichtkranz, der nie fehlt, aber nur dann, wenn eine — natürliche oder künstliche — Abblendung der hellstrahlenden Sonnenscheibe stattgefunden hat, deutlich erkennbar ist, während die Protuberanzen rötlich gefärbte Auszackungen sind, welche haken- oder zungenförmig aus der Korona vorspringen und sich häufig in ungemein große Fernen erstrecken. F. Baily (1774—1844) in Pavia, Maedler in Barcelona, W. v. Struve in Brest-Litewsk erzielten wesentlich übereinstimmende Resultate. Zwar bestanden noch Zweifel, ob die wahrgenommenen Gebilde Realität besäßen und nicht vielleicht bloß als eine Diffraktionserscheinung aufzufassen seien, wie dies der Greifswalder Physiker F. K. O. v. Feilitzsch (1817—1884) mit Aufgebot von viel Scharfsinn darzuthun versuchte. Jetzt begann man sich aber zu erinnern, daß schon aus vorteleskopischer Zeit Berichte über den bei Verfinsterungen auftretenden Lichtring vorlagen, daß insbesondere ein byzantinischer Schriftsteller denselben sehr zutreffend beschrieben hatte. Auch Kepler hatte Kenntnis von der Korona und teilte sie richtig der Sonne, nicht dem Monde zu, und wieder annähernd hundert Jahre später hatte Dom. Cassini, wie jetzt erst näher beachtet wurde, auf eine „Krone bleichen Lichtes“ aufmerksam gemacht. Eine tiefere Einsicht in das Wesen der Lichterscheinung war freilich erst dann zu erwarten, wenn es gelungen sein würde, die Beobachtung von dem zufälligen, nur sehr selten sich darbietenden Hilfsmittel einer Sonnenfinsternis zu emanzipieren. Die Zeit, welche diesen gewaltigen Fortschritt erleben sollte, stand nahe bevor.

Schroeters Entdeckungen an den beiden unteren Planeten Merkur und Venus sind bis 1850 nicht beträchtlich weitergeführt worden. Zwar veröffentlichten W. Beer (1797—1850) und Maedler, der anfänglich an der von ersterem eingerichteten Privatsternwarte wirkte, interessante „Beiträge zur physischen Kenntnis der himmlischen Körper im Sonnensysteme“ (Weimar 1841), aber

das Neue, was beide brachten, bezog sich hauptsächlich auf Mond und Mars, welch letzterem Beer mit besonderer Vorliebe sich widmete. Damals bildete sich zuerst die in der Hauptsache noch heute bestehende Meinung aus, daß die Marsoberfläche, freilich bei ganz anderer räumlicher Verteilung des festen und flüssigen Elementes, einen mit den tellurischen Verhältnissen vergleichbaren Wechsel von Festland und Wasser aufweise, und daß gewisse weiße Flecke in hoher areographischer Breite als Ansammlungen von Schnee und Eis, die mit den Jahreszeiten des Mars Größe und Gestalt änderten, gedeutet werden müßten. Es war dies auch die schon 1784 mit merkwürdiger Klarheit ausgesprochene Überzeugung W. Herschels gewesen. Die so gut wie absolute Stabilität mancher Oberflächenteile des Mars hatte auch schon frühzeitig zu einer sehr genauen Bestimmung seiner Rotationsdauer verholfen, welche diejenige der Erde nur unbeträchtlich übertrifft.

Von Jupiter, Saturn und Uranus hat man in dem uns gegenwärtig beschäftigenden Zeitraume nur wenig Neues erfahren. Dagegen begann sich die Kenntnis von der Erfüllung des Raumes zwischen Mars und Jupiter ansehnlich zu erweitern; bisher hatten nur vier sogenannte Planetoiden diesen Raum belebt; gerade am Ausgange der Periode ward die Hoffnung, daß sich die planetarische Frequenz der breiten Zone verstärken werde, neu belebt. Und noch weniger, wie früher, war die neue Entdeckung ein Werk des Zufalles; sie beruhte vielmehr auf planmäßiger Durchforschung des Himmels an der Hand eines Wegweisers, der älteren Generationen gefehlt hatte. Auf Anregung Bessels war seit 1830 die Berliner Akademie mit der planmäßigen Bearbeitung von Sternkarten vorgegangen, deren jede eine Zeitstunde, also 15 Bogengrade des Äquators, umfassen sollte; bis 1859 sind die 24 Karten, um die sich u. a. besonders Argelander und K. Bremiker (1804 bis 1877) bemühten, in den Besitz der astronomischen Welt gelangt. Der Postmeister K. L. Hencke (1793—1866) in dem neumärkischen Städtchen Driesen nahm an dem Unternehmen auch aktiven Anteil und bediente sich der bereits vollendeten Karten zu einer planmäßigen Absuchung des gestirnten Himmels. Im Jahre 1845

fand er ein Mitglied der Planetoidengruppe auf, dem der Name Astraea beigelegt wurde, und seitdem folgten sich die Entdeckungen so rasch, daß es nur demjenigen, der sich die Asteroidenforschung als Lebensaufgabe gewählt hat, vergönnt ist, den einzelnen Phasen dieser rapiden Entdeckerthätigkeit zu folgen.

Von allen planetarischen Objekten hat in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts sonder Zweifel der Erdmond den Beobachtern am meisten zu thun gegeben. Schroeters zahlreiche, mit hingebendem Fleiße ausgeführte Landschaftszeichnungen litten ja wohl darunter, daß physische Veränderungen an der Oberfläche unseres Trabanten aufgespürt werden sollten, ehe noch eine ganz verlässige topographische Karte vorlag; gleichwohl hat die neueste Forschung diese Skizzen wieder sehr zu würdigen gelernt, weil durch sie zuerst die viel besprochenen Rillen als ein beachtenswerter Gegenstand hervorgehoben wurden. Schroeters nächster Nachfolger in der Selenographie war der freilich oft belächelte F. Gruithuisen (1774—1852), der die reichen optischen Hilfsmittel der Münchener Sternwarte in den Dienst der Mondforschung stellte und, wie sich neuerdings herausgestellt hat, wirklich ausgezeichnet beobachtete; über seine Versuche, Bauwerke und andere Artefakte der Mondbewohner zu erkennen, ist man mit berechtigtem Lächeln zur Tagesordnung übergegangen, allein es war nun einmal, wie wir noch in einem anderen Falle sehen werden, das Geschick dieser wirklich originellen Persönlichkeit, Wahres und Falsches ganz eigentümlich mit einander zu vermengen. Ungleich höher standen gewiß die Arbeiten des Dresdeners Lohrmann (1796—1840), der lunare Spezialkarten zu veröffentlichen anfing; der Fortgang geriet bald ins Stocken, aber durch die posthume Ausgabe Jul. Schmidts wurden wir in den Stand gesetzt, die hohe Feinheit zu bewundern, mit welcher W. G. Lohrmann, Geodät von Fach, die Kartierung durchführte. Von Beer und Maedler erschien 1834 eine „Mappa selenographica“, welche den 300mal vergrößerten Mond vortrefflich darstellt und, zumal in Verbindung mit einer drei Jahre später gedruckten Monographie des Mondes, als eine wichtige Etappe der lunaren Forschung zu gelten hat. Aber schon war in Jul. Schmidt (geb. 1825) ein gefährlicher Konkurrent erstanden, der bereits in

den ersten vierziger Jahren seine ungewöhnliche Arbeitskraft fast ausschließlich unserem Satelliten zugewendet hatte; wir werden ihm nachmals noch öfter begegnen.

Die kometarische Astronomie fand während unserer Periode einen besonders hingebenden Vertreter in dem Berliner Sternwartendirektor J. F. Encke (1791—1865), der sich unter Gauß zu einem der ersten Kenner der Himmelsmechanik ausgebildet hatte und seit 1813 die Berechnung von Kometenbahnen zur eigentlichen Lebensbeschäftigung wählen zu wollen schien. In Summa hat er nicht weniger denn 56 derartige Rechnungen zum Abschluß gebracht, und eine aus dieser Zahl machte seinen Namen unsterblich. Im Jahre 1818 nämlich hatte einer der glücklichsten Kometenjäger, J. L. Pons in Marseille (1761—1831), einen Schweifstern entdeckt, der sich der üblichen Regel, gemäß welcher für jeden Neuling dieser Art eine vorläufige Bahnparabel bestimmt wird, durchaus nicht fügen wollte. Encke nahm sich des scheinbar abnormen Falles an und zeigte, daß dieser Komet in einer wenig exzentrischen elliptischen Bahn um die Sonne läuft und nur etwas über $3^1/_2$ Jahre zu einem vollständigen Umlaufe braucht. An diesen Enckeschen Kometen, wie er seitdem in der Wissenschaft heißt, knüpfte sich bald eine sehr wichtige Kontroverse, welche selbst bis zum heutigen Tage noch nicht als endgiltig ausgetragen anzusehen ist. Es fand sich nämlich, daß die Umlaufszeit des Gestirnes von einer Revolution zur anderen immer kürzer und kürzer wird, ohne daß in den Störungen der benachbarten Himmelskörper ein Grund für diese Beschleunigung nachgewiesen werden könnte. Encke glaubte sich deshalb berechtigt zu dem Schlusse, daß im Interstellarraume ein feines, widerstehendes Medium verteilt sein müsse, möglicherweise identisch mit dem Lichtäther der Physiker, viel zu zart freilich, um den groben Planetenkugeln einen sinnenfällig wahrnehmbaren Widerstand entgegenzusetzen, aber doch kompakt genug, um die Bewegung eines Körpers von überaus feinem Gefüge hindernd zu beeinflussen. Die Astronomen nahmen, wie gesagt, eine verschiedene Stellung gegenüber dieser Stellung ein; Olbers war ganz auf Enckes Seite, während Bessel sich mit diesem, ohne es zu wollen, überwarf, weil er betonte, daß für die auch von ihm anerkannte

Thatsache vielleicht auch andere Ursachen, in den körperlichen Veränderungen der Kometen liegend, maßgebend sein möchten. Es darf gleich hier bemerkt werden, daß spätere Untersuchungen F. E. v. Astens (1842—1878) und O. Backlunds (geb. 1846) eher für Bessel in die Wagschale fallen, obwohl ja das Vorhandensein eines interplanetarischen Mediums noch keineswegs widerlegt ist.

Nachdem Encke das Eis gebrochen hatte, wurden noch mehrere der Kometen, mit denen man durch den Entdeckereifer eines Pons, B. Valz (1789—1867), F. F. A. Gambart (1800—1836), Brorsen, F. De Vico (1805—1848) u. a. bekannt gemacht ward, als solche von verhältnismäßig kurzer Umlaufsdauer erkannt. Am bekanntesten sind unter ihnen die nach Brorsen und W. v. Biela (1782—1856) zubenannten geworden; letzterer insbesondere deshalb, weil er, wie zuerst M. F. Maury in Washington (1806—1873) mit Staunen 1846 wahrnahm, der Welt das auffällige Schauspiel einer Teilung darbot. Er zerfiel in zwei nebeneinander ihren Weg ruhig fortsetzende kosmische Wolken, und als er 1852 wieder sichtbar wurde, erschien er abermals doppelt, indem nur die Entfernung beider Teile etwas größer geworden war. Man hat Grund zu der Annahme, daß der Auflösungsprozeß seitdem fortgeschritten ist, denn man hat das Kometenpaar nicht mehr zu Gesichte bekommen, und es ist gar nicht unwahrscheinlich, daß der große Meteoritenschwarm, durch welchen nach den Beobachtungen von Pogson in Madras die Erde im November 1872 hindurchging, das letzte Zersetzungsprodukt des Bielaschen Kometen war. Schon 1837 hatte der Österreicher J. Morstadt (1797—1868) den Gedanken hingeworfen, es möge wohl zwischen Schweifsternen und Meteoranhäufungen gar kein grundsätzlicher Unterschied bestehen, und dreißig Jahre nachher hat diese Vermutung eine glänzende Rechtfertigung erfahren.

Der gewaltige Fortschritt, welchen das früher mühsame und verwickelte Geschäft der Bahnbestimmung eines Kometen in diesem Jahrhundert gemacht hatte, erhellt schon aus der so rasch anwachsenden Zahl festgelegter Bahnen dieser Art. Olbers und Gauß hatten, wie wir wissen, diesen Fortschritt ermöglicht, aber

auch Bessels Name ist hier mit gewohnten Ehren zu nennen, und unter seiner Ägide entstanden Argelanders Untersuchungen über den Kometen von 1811, der sich durch eine überaus exzentrische, bis an die äußerste Grenze des Sonnensystemes führende Bahn auszeichnete. Er scheint hinsichtlich der Schweifentwicklung der großartigste Vertreter seiner Gattung im 19. Jahrhundert gewesen zu sein. Und als er im Januar 1812 für Westeuropa verschwunden war, weil er im Perihel zu nahe an die Sonne herankam und von ihr überstrahlt wurde, da ward er ein Halbjahr später unter dem klaren Himmel des südrussischen Kontinentalklimas aufs neue sichtbar, und Wisniewsky in Nowo-Tscherkask konnte seinen Lauf noch vom 31. Juli bis zum 17. August verfolgen, wodurch natürlich die Genauigkeit der Rechnung ungemein erhöht werden mußte. Glänzend bestand die Theorie auch ihre Probe, als das Wiedererscheinen des Halleyschen Kometen bevorstand. Als man 1758 vor dem gleichen Ereignis stand, arbeiteten Clairaut und Madame Lepaute achtzehn Monate lang so unermüdlich, daß sie sich angeblich kaum zum Essen Zeit nahmen, um dann allerdings durch die Thatsachen glänzend belohnt zu werden, denn am 15. April 1759 sollte der von Halley nach Newtons Methoden berechnete Planet seine Sonnennähe erreichen, und richtig wurde er bereits am 25. Dezember 1758 von Palitzsch gesehen. Jetzt, nachdem wieder eine 76jährige Periode vorüber war, führten M. C. Th. Damoiseau (1768—1846), A. Rosenberger (1800—1890), T. G. D. Graf Pontécoulant (1795—1874) und J. W. H. Lehmann (1800—1863) die analoge Rechnung, jeder für sich allein, durch und trafen darin zusammen, daß jeder den Periheldurchgang in den November 1835 verlegte. Aus den Beobachtungen, welche E. Dumouchel (1773—1840) in Rom anstellte, ging denn auch wirklich hervor, daß das fragliche Ereignis am 16. November statthatte. An diesem Kometen übte auch Arago, der Vorstand der Pariser Sternwarte, die Kraft eines von ihm erfundenen, als Polariskop bezeichneten Instrumentes, mit dessen Hilfe die Beschaffenheit des von einem leuchtenden Körper ausgesandten Lichtes ermittelt werden soll. Es fand sich, und spätere Beobachtungen mit noch vervollkommneten Mitteln

haben es bestätigt, daß die meisten Kometen zwar wesentlich, wie die Planeten auch, mit erborgtem Lichte leuchten, daneben aber auch noch eigenes Licht besitzen, dessen Entstehung mit den gewaltigen molekularen Umwandlungen innerhalb der Kometenmaterie zusammenhängen dürfte.

Mit den Kometen pflegt die heutige Zeit die Meteoriten in einem Atemzuge zu nennen, und daß dies geschieht, kennzeichnet so recht deutlich den gewaltigen Umschwung, der sich in einem halben Jahrhundert vollzogen hat. Denn zu Beginn des 19. hatten diese Weltkörper noch um die bloße Anerkennung ihrer Existenz zu kämpfen. Im Jahre 1790 meinte A. Stütz (1747—1806), der gut unterrichtete Direktor des Wiener Naturalienkabinettes, man sei jetzt doch zu aufgeklärt, um an das Märchen glauben zu können, daß Eisen vom Himmel herabfalle. Die drei 1794, 1809 und 1819 erschienenen Schriften E. F. F. Chladnis des Akustikers, welche der richtigen Anschauung die Bahn brachen, wurden noch vielfach befehdet, und zumal die Pariser Akademie wollte lange nicht von ihrem Skeptizismus ablassen. Erst als 1803 aus Aigle (Departement L'Orne) eine gut beglaubigte Nachricht über einen Steinfall einlangte, konnte die hohe Körperschaft es nicht wohl ablehnen, einen sachkundigen Berichterstatter an Ort und Stelle zu senden, und dieser, J. Biot, konnte nicht umhin, die Realität der Erscheinung unumwunden zuzugestehen. Astronomische Bestimmungen der von den Feuermeteoren beschriebenen Bahnen lieferten ziemlich gleichzeitig Benzenberg und Brandes. Daß aber eigentliche Periodizität in deren Auftreten bestehen könne, wurde erst durch Quetelets mühevolle Nachforschungen („Catalogue des principales apparitions d'étoiles filantes“, Brüssel 1842) wahrscheinlich gemacht und in der Folgezeit immer entschiedener bestätigt.

Die zweite Hälfte der vierziger Jahre sah endlich jenen großen Triumph der astronomischen Theorie und zugleich auch der verfeinerten Beobachtungskunst, auf den wir mehrfach anzuspielen hatten, und der eine naturgemäße Abgrenzung gestattet, weil damit das Sonnensystem diejenige Abrundung und Ausgestaltung erhielt, welche noch heute als normativ angesehen wird. Wir erfuhren,

daß die Störungen des Planeten Uranus schon verschiedenen Gelehrten Anlaß zum Nachdenken und Forschen gegeben hatten, daß man auch das etwaige Vorhandensein eines in noch größerer Ferne die Sonne umwandernden Planeten in Betracht gezogen hatte, daß man aber vor der unermeßlichen Zahlenarbeit zurückgeschreckt war, welcher sich der zu unterziehen hatte, der aus jenen indirekten Kennzeichen heraus den wirklichen Ort des mutmaßlichen Planeten ausfindig machen wollte. Schon der gewöhnliche Störungskalkul, welcher die Massen der sich gegenseitig beeinträchtigenden Weltkörper und deren Örter für eine gegebene Epoche als bekannt voraussetzt, gestaltet sich mühselig genug; wie sehr mußte die Verwicklung erst zunehmen, wenn das umgekehrte Störungsproblem gestellt wurde! Und doch ist dasselbe von zwei Forschern, die sich in vollster Unabhängigkeit von einander befanden, annähernd gleichzeitig angegriffen und bewältigt worden. Schon 1845 legte J. C. Adams in Cambridge (geb. 1819) dem Professor der Astronomie, Challis, sein Resultat vor, und dieser suchte dann auch den neuen Planeten am Himmel auf, ohne ihn aber, weil die ihm zu Gebote stehenden Karten für so lichtschwache Objekte nicht ausreichten, mit voller Bestimmtheit erkennen zu können. So kam es, daß Adams' Verdienst neben dem seines glücklichen Rivalen in den Schatten trat, während an und für sich von keiner Minderwertigkeit die Rede sein kann. U. J. J. Leverrier (1811—1877), von Hause aus Chemiker, hatte sich bald der Astronomie gewidmet und es zu höchster Meisterschaft in der Handhabung der höheren Rechnungsmethoden gebracht, die er nun auf die Uranusfrage anwandte. Kaum hatte er einen Abschluß erzielt, so benachrichtigte er, da die eigentliche Beobachtungskunst in Paris damals durchaus nicht auf der Höhe stand, die Berliner Sternwarte, und Encke beauftragte seinen Assistenten J. G. Galle (geb. 1812; nach überaus thätigem Wirken als Direktor der Breslauer Sternwarte erst spät in den Ruhestand getreten, der Nestor der zeitgenössischen Astronomen), nach dem Planeten zu suchen. Ein günstiges Schicksal hatte es gefügt, daß soeben Stunde 21 der erwähnten Berliner Sternkarten fertig geworden war, welche das von Leverrier bezeichnete Sternbild des Steinbockes umfaßte, und noch am gleichen Abend

wurde der transuranische Planet unfern der berechneten Stelle wirklich entdeckt. Derselbe sollte anfänglich „Planète Leverrier“ heißen, indessen hat man sich doch geeinigt, ihm die zu den Namen seiner schon bekannten Genossen besser stimmende Bezeichnung Neptun beizulegen und ihm als Symbol den Dreizack zuzuerkennen.

Es war vielleicht einiger Zufall mit im Spiele, aber gleichwohl wird niemand es bestreiten können, daß sich souveräne Beherrschung des mathematischen Instrumentes und ausgebildete Beobachtungstechnik in schönster Weise die Hand gereicht haben, um die Bereicherung unseres Planetensystemes durch ein vorher unbekanntes Mitglied zu ermöglichen. Die Sternkunde ward dadurch auch des nicht zu unterschätzenden Vorteiles teilhaftig, weit über die eigentlichen Fachkreise hinaus vom Publikum in ihrer Bedeutung und Leistungsfähigkeit besser begriffen zu werden. Man wird nicht ohne weiteres behaupten können, daß nicht später einmal diese denkwürdige Geistesthat ihre Wiederholung erleben kann; denn in der That haben sich auch bereits in der Neptunbahn Anomalien gezeigt, welche an einen noch unbekannten Gravitationseinfluß denken lassen. Immerhin ist von Adams und Leverrier der Weg vorgezeichnet worden, durch dessen Betretung auch in künftigen Fällen die Erzielung eines Erfolges gesichert erscheint. —

Fast fünfzig Jahre sind es, durch welche wir den Leser in diesem Abschnitte geführt haben; daß nur die besonders in die Augen fallenden Errungenschaften des Zeitraumes eine Erwähnung finden konnten, liegt in der Natur der Dinge. Wer jedoch die tiefer liegenden Bedingungen einer so mächtigen, von so großartigen Siegen gekrönten Geistesbewegung erforschen wollte, der müßte vor allem auch die minder imposante, darum aber nicht weniger bedeutungsvolle wissenschaftlich-didaktische Kleinarbeit betrachten, welche gerade in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts von allen Seiten geleistet wurde. An den meisten Hochschulen Deutschlands und anderer Länder machte sich die Astronomie von der früher nützlichen und gebotenen, nachgerade aber lästig fallenden Personalunion los, in welcher ihre Vertreter mit dem Lehrfache der Mathematik überhaupt standen, und an vielen Orten wurden größere und kleinere Sternwarten eingerichtet, mochten auch bei

ihrer Gründung vielfach zunächst nur Unterrichtszwecke ins Auge gefaßt sein. Die berühmten Sternwarten in Rom, Pavia, Mailand, Turin, Montpellier, Greenwich, Bogenhausen (München), Berlin, Göttingen, Gotha (Seeberg), Königsberg und Dorpat dienten als Musterstätten bei der Anlegung neuer Tempel der Urania; einige Observatorien freilich, die nachmals ebenfalls Weltruf erlangten, befanden sich damals noch nicht auf dieser Höhe, so — infolge unzweckmäßiger Baueinrichtung — Wien und Paris, wo man sich viel mehr mit Physik der Erde, als mit eigentlicher Astronomie befaßte. Gewisse den Bau solcher Anstalten regelnde Grundsätze drangen mehr und mehr durch; man kam von der irrigen Ansicht ab, daß ein Beobachter um so mehr leisten könne, je weiter er vom Erdboden entfernt sei, und verlegte die Beobachtungsplätze von der Plattform hoher Türme, auf denen man sie mit Vorliebe angebracht hatte, herab auf die Erde, um so die Gefahren der Bodenschwankung möglichst auszumerzen. Aus gleichem Grunde gewöhnte man sich daran, das Hauptinstrument, als welches die Praktiker längst den an die Stelle des Mauralquadranten getretenen Meridiankreis erkannt hatten, auf Pfeilern aufzustellen, welche ohne Berührung mit dem Mauer- und Zimmerwerke des Gebäudes unmittelbar aus dem Fundamente aufragten. Auch die Drehkuppel, welche bereits gegen Ende des 16. Jahrhunderts auf der Sternwarte des Landgrafen Moritz von Hessen zu Kassel Eingang gefunden hatte, wurde ein unentbehrliches Requisit der praktischen Astronomie.

In den dreißiger Jahren reifte bei dem Zaren Nikolaus der Entschluß heran, Rußland mit einem Musterinstitute dieser Art zu beschenken; dasselbe ist auch zustande gekommen, hat seine Bestimmung nicht verfehlt und wertvolle Forschungsresultate entstehen lassen. Als Bauort wurde eine Domäne der Krone in geringer Entfernung von St. Petersburg ausgewählt, und nachdem W. v. Struve zur Leitung des Baues und der Anstalt selbst (1834) berufen war, erhob sich in wenigen Jahren die Sternwarte zu Pulkowa, an welcher die Arbeiten im Jahre 1838 ihren Anfang nahmen. Mit der Munifizenz des unumschränkten Selbstherrschers aufgeführt, vermochte diese Sternwarte manches Ideal

zu verwirklichen, das andererorts auch nur anzustreben sich aus äußeren Gründen verbot.

Auch das 18. Jahrhundert hatte in ihrer Art recht gute astronomische Lehrbücher hervorgebracht, und zwar gebührte hier den Franzosen, welche am besten wissenschaftliche Strenge mit Klarheit der Darstellung zu vereinigen verstanden, der unbestrittene Vorrang. Lalandes „Astronomie“ (3. Auflage, Paris 1791) ist auch in Deutschland noch lange der beste Ratgeber für den geblieben, der tiefere Studien zu machen im Sinne hatte. Auch viel später noch verfaßte ein Franzose, der als Kometenberechner uns bekannte Pontécoulant, das beste, mehr elementare Lehrbuch der Himmelsmechanik (Paris 1829—1846), ein überaus verdienstliches Werk, welches insbesondere auch die Stabilität unseres Weltsystemes zum Gegenstande einer gründlichen Diskussion machte und den Laplaceschen Nachweis für die eine solche Unzerstörbarkeit sichernde Konstanz der großen Achsen der Planetenbahnen vereinfachte. Doch darf der Deutsche mit Genugthuung daran erinnern, daß ein Landsmann, der Leipziger Professor A. F. Moebius (1790—1868), im Jahre 1842 mit einer gemeinverständlichen Ableitung der Hauptsätze dieser schwierigen Disziplin hervortrat, welche einem jeden, der nur die Geometrie einigermaßen beherrscht, den Zugang zu einem bis dahin für das Mysterium weniger Eingeweihter gehaltenen Wissensgebiete erschloß. In England haben J. W. Lubbock (1803—1865) und G. B. Airy (1801—1893) die Störungsrechnung in besonderen Schriften gelehrt.

Die Kunst, astronomisches Wissen einem weiteren Interessentenkreise durch gemeinverständliche Darlegung zu vermitteln, haben stets nur Wenige verstanden; die so zahlreichen populären Schriften haben nicht immer Berufene zu Verfassern gehabt. In virtuoser Weise muß Emanuel François Arago die Kurse gehalten haben, welche er alljährlich in Paris organisiert hatte, und an denen teilzunehmen, wie erwähnt, Humboldt noch im höheren Alter für einen großen Genuß erachtete. Diese Vorträge sind für die „Kosmos“-Vorlesungen vorbildlich geworden. Zu den besten Kompendien der nichtdeutschen Litteratur zählen in diesem Intervalle diejenigen des Franzosen J. B. Biot (1779—1862), des

Italieners Piazzi und des Engländers John Herschel, wozu dann noch die elementare, mit großem Geschicke geschriebene „Himmelsmechanik" („Mechaniks of the Heavens", London 1832) der gelehrten Lady Mary Somerville (1780—1872) hinzutritt. In Deutschland haben J. H. Maedler und noch mehr J. J. v. Littrow (1781—1840) die populär-astronomische Litteratur zu Ehren gebracht, und des zweitgenannten „Wunder des Himmels" haben, in zeitgemäß umgeformten Auflagen, ihren Platz auf dem Büchermarkte dauernd behauptet.

Auch die geschichtlich-astronomische Forschung hat in unserem Zeitraume nicht gerastet, aber noch mehr denn zuvor lag sie wesentlich in den Händen der Franzosen, unter denen ja im 18. Säkulum Pingré, Montucla, Péron, Bailly auf diesem Arbeitsfelde Achtungswertes geleistet hatten. Den umfänglichen Geschichtswerken J. B. J. Delambres (1749—1822) über antike, mittelalterliche und neuere Sternkunde kommt freilich nur ein bedingter Wert zu, denn so bedeutend der Autor als astronomischer Rechner selbst dasteht, hat er sich doch den Fehlgriff zu schulden kommen lassen, ganz moderne Anschauungen und Methoden in die Produktion der Vergangenheit hineinzutragen. Eigenartig und selbst in der Gegenwart nicht überholt sind Ed. Biots (1803—1850) Untersuchungen über chinesische und diejenigen von L. P. E. A. Sédillot (1808—1875) über arabische Astronomie. Der französischen Litteratur muß auch A. v. Humboldts feinsinnige Monographie über die Bedingtheit der großen Entdeckungsthaten der Renaissance durch die Fortschritte der nautischen Astronomie zugerechnet werden, ein tiefgelehrtes Werk, welches der jüngere — J. L. — Ideler (1809—1842) sehr mit Recht in die Muttersprache des Autors übertragen hat. Dessen Vater C. L. Ideler (1766 bis 1846) hat sehr viel dazu beigetragen, die Astronomie des Altertums besser verständlich zu machen, und als Schöpfer der selbständigen historischen Chronologie, welche ihm ein noch heute nicht übertroffenes Handbuch (Berlin 1826) verdankt, hat er sich auch als Originalforscher einen geachteten Namen errungen.

Die periodische astronomische Litteratur hatte ihren Stammsitz in Deutschland, und dieser Umstand gewährt den Epigonen einen

ebenso hohen Vorteil, wie ihn die Mitwelt daraus zog, zumal wenn man die deutschen Verhältnisse vergleicht mit denjenigen anderer europäischer Staaten, wo sich die Veröffentlichungen in den Schriften der gelehrten Gesellschaften — man denke an die ungeheure Anzahl derselben, z. B. in Italien — vereinzelten und dem Blick entzogen. Von 1800 an beherrschte der mit wahrem wissenschaftlichen Feldherrnblicke und seltenem Organisationstalente ausgestattete F. X. v. Zach das Feld, und daneben ermöglichte Bodes „Astronomisches Jahrbuch“, eine mit Anhängen bereicherte Ephemeridensammlung, den Abdruck größerer Abhandlungen. Im Jahre 1821 schrieb dann der Altonaer Astronom C. H. Schumacher (1780—1850) seinem Freunde Gauß, er sei von seinem — dem dänischen — Finanzminister aufgefordert worden, eine Fachzeitschrift ins Leben zu rufen. Gauß und andere Männer von Ruf sagten ihre Mitwirkung zu, und so konnte das neue Organ, „Astronomische Nachrichten“ genannt, seit September 1821 den Verkehr zwischen der Fachwelt des In- und Auslandes aufnehmen, zuerst gefolgt von einer gelegentlichen Beilage („Astronomische Abhandlungen“, dann „Jahrbuch“ bis 1844), die für größere Drucksachen bestimmt war. Dieses überaus wertvolle Journal, die lebendige Geschichte der Astronomie während eines Zeitabschnittes von nunmehr acht Dezennien, ist von Schumacher bis zu seinem Tode, nachmals aber von Petersen, Hansen, C. A. F. Peters, Krüger, Männern, die uns im 13. Abschnitte sämtlich aufs neue begegnen werden, ständig im gleichen Geiste weitergeführt worden und steht im Begriffe, die Grenze des Jahrhunderts seiner Stiftung zu überschreiten. Es giebt wohl kaum einen mit der Erforschung der Sternenwelt verknüpften Namen, den man im Register der „Nachrichten“ vergeblich aufsuchen würde.

Sechstes Kapitel.

Erdmessung und Erdphysik in der ersten Hälfte des Jahrhunderts.

Mit der Sternkunde steht von je in engster Beziehung die allgemeine, d. h. mathematisch-physikalische Erdkunde, deren Basis ja eben die auf astronomischem Wege erfolgende Erdmessung ist. Diese letztere hatte, wie unsere Einleitung darlegte, im Zeitalter der französischen Revolution eine zuvor ungeahnte Bedeutung erhalten, und die Notwendigkeit, auch feinere metrische Verhältnisse des Erdkörpers zu ermitteln, war ersichtlich geworden, als sich herausstellte, daß der Meridian von Paris mit demjenigen irgend eines anderen Erdortes keineswegs vollkommen übereinzustimmen brauchte. Die Gradmessungen, schon im 18. Jahrhundert immer zahlreicher geworden, erhielten sich demnach im Vordergrunde wissenschaftlicher Teilnahme, und zu denjenigen, welche bisher zur Ermittlung der Dimensionen und der Abplattung des Erdellipsoides gedient hatten, traten neue in verschiedenen Gegenden hinzu. Noch herrschte die Meinung, daß die ruhige Meeresfläche eine rein sphäroidische sei, und die schüchtern aufgetauchten Zweifel, ob wirklich sämtliche Messungsergebnisse auf der nämlichen geometrischen Fläche unterzubringen sein möchten, wurden kaum beachtet.

Die Gradmessung, auf welche hin Laplace die Einführung des Meters durchsetzte, während andere Autoritäten lieber die Länge des Sekundenpendels unter einer bestimmten Breite als Maßeinheit gesehen hätten, war eine ziemlich unvollständige gewesen, da sie sich

eben nur über die meridionale Ausdehnung Frankreichs erstreckte. P. F. A. Méchain (1744—1804), der bei den Operationen vorwiegend beteiligt war, hegte den berechtigten Wunsch, eine Verlängerung des Bogens nachprüfen zu können, und ging zu dem Ende nach Spanien, wo er aber schon 1803 der Überanstrengung erlag. In seine Fußstapfen traten jedoch Arago und J. B. Biot, und diesen beiden unternehmenden Männern war es vergönnt, die Dreieckskette südlich bis zur Insel Formentera fortzuführen. Das endgiltige Meter, welches, hieraus berechnet, das provisorische des Jahres 1795 hätte ersetzen sollen, ist niemals in seine Rechte eingetreten; in der Hauptsache ist es ja auch gleichgiltig, ob man sich an das eine oder an das andere Normalmaß hält.

Nicht sowohl wegen einer schärferen Bestimmung der Erdabplattung, als vielmehr wegen der methodischen Fortschritte, welche das Gradmessungsverfahren als solches machte, sind die beiden auf ein kleineres Areal beschränkten Arbeiten höchst bemerkenswert, welche Gauß in den zwanziger Jahren in Hannover, Bessel in den dreißiger Jahren in Ostpreußen ausführten. Im ersteren Falle kam das Heliotrop zur regelmäßigen Anwendung, welches durch Zusendung von Sonnenlichtblitzen einen Verkehr der beiden aufeinander angewiesenen Beobachter erlaubte; bekanntlich ist daraus später das vom englischen Heere ausgebildete Heliographieren zu kriegerischen Zwecken hervorgegangen. Des weiteren hatte die hannoversche Gradmessung den indirekten Nutzen, daß aus ihr Gauß die Anregung zu seinen bahnbrechenden Studien über Flächenkrümmung und kürzeste Linien auf krummen Flächen schöpfte. Im übrigen war er mit seinen Resultaten nicht durchweg zufrieden, denn es fehlte ihm sowohl an Geldmitteln als auch an der gehörigen Zahl von Mitarbeitern, und neueren Erhebungen zufolge hat es sich auch gerächt, daß man sogleich an das eigentliche Messungsgeschäft herantrat, ohne sich durch Rekognoszierungen über die Auswahl der zweckmäßigsten trigonometrischen Punkte vergewissert zu haben. In dieser Hinsicht ließ nichts zu wünschen die ostpreußische Vermessung, zu deren Ausführung sich Bessel den Generalstabsmajor J. J. Baeyer (1794—1885) beigesellt hatte, einen Kämpfer der Befreiungskriege, der unter dem be-

kannten Generalquartiermeister F. v. Müffling (1775—1851) eine vorzügliche kartographische Schule durchgemacht und sich schon mehrfach als Geodät ausgezeichnet hatte. Baeyer verband mit den preußischen Dreiecken diejenigen, welche er für eine baltische Küstenvermessung benötigte, und bestimmte durch ein trigonometrisches Nivellement mit bisher unerreichter Schärfe die Höhe der Berliner Sternwarte über dem Normalstande des Pegels von Swinemünde. Der um die exaktere Ermittlung der Erdgestalt so hoch verdiente Mann wird uns noch mehr denn einmal in der Geschichte der exakten Naturwissenschaft begegnen.

Das Motiv, welches eine genauere Meereshöhenbestimmung der preußischen Hauptstadt erforderlich machte, war durch Bessels klassische Pendelversuche gegeben. Es stand damals fest, daß dann, wenn man für eine Anzahl von Erdorten die Länge des Sekundenpendels genau kenne, nach einem von Clairaut aufgestellten Lehrsatze, unter steter Beiziehung der Methode der kleinsten Quadrate, ein Wert für die Abplattung der Erde erhalten werden könne, der schließlich mit dem aus den Gradmessungen resultierenden sich decken müsse. H. Kater (1777—1835) hatte in seinem Reversionspendel ein treffliches Werkzeug zur Verfügung gestellt; C. S. F. Pouillet (1791—1868) hatte eine Formel abgeleitet, welche, wenn gewisse Konstante bekannt waren, die Länge des Sekundenpendels als eine Funktion der Polhöhe darstellte. Um nun aber über die Voraussetzungen ins klare zu kommen, welche eine fehlerlose Bestimmung der fraglichen Längengröße ermöglichen, stellte eben Bessel in Berlin jene Beobachtungen an, welche er in zwei Abhandlungen aus den Jahren 1828 und 1837 beschrieb. Alle nur irgend als einflußreich anzunehmenden Faktoren fanden hier Berücksichtigung, so die Reduktion auf den Meereshorizont, der Widerstand der Luft, die Abnutzung der auf Achatplatten ruhenden Pendelschneiden, das Mitschwingen des Supportes u. s. w. Ja, Bessel ging sogar so weit, daß er die Frage, ob extratellurische Körper von der Schwere ebenso wie tellurische abhängen, experimenteller Erprobung unterwarf; er ließ Pendellinsen aus Meteoreisen fertigen und wies unwiderleglich nach, daß es für die Schwingungsdauer eines Pendels von ge-

gebener Länge völlig gleichgiltig ist, aus welchem Materiale der schwingende Körper besteht.

Weitere Gradmessungen wurden vorgenommen von W. Roy (gest. 1790) in England und W. Lambton (1748—1823) in Ostindien; letztere erwies sich als besonders wichtig, weil sie später von S. C. Walker (1805—1853) und G. Everest (1790—1866) fortgesetzt wurde und zuletzt einen Meridianbogen von vollen 26° umfaßte. Die indischen Vermessungen umfaßten auch vertikale Distanzen, und bei dieser Gelegenheit ist es geschehen, daß die Seehöhe des — zur Zeit — höchsten Berges der Erde, des Gaurisankar, trigonometrisch auf 8840 m bestimmt ward; der Berg führt seitdem den Nebennamen Mount Everest. Vorher noch hatten L. F. Svanberg (1802—1882) und Palander den von Maupertuis gemessenen polaren Meridianbogen revidiert und den nicht unbeträchtlichen, aber zum Glück für die Sache selbst nicht entscheidend gewesenen Fehler bemerkt, den die französische Gesellschaft begangen hatte. In Oberitalien maßen F. Carlini (1783 bis 1862) und Plana einen Meridiangrad, indem sie zugleich einem schon früher von Maskelyne und Hutton in Schottland konstatierten, von J. Liesganig (1719—1799) auch in den Ostalpen wahrgenommenen Fehler Rechnung zu tragen beflissen waren, einem Fehler, der in der Lokalattraktion der Alpen seinen Grund hatte.

Inzwischen waren die Bedenken gegen eine rein-sphäroidische Erdgestalt stetig gewachsen, und tiefer denkende Geometer sahen ein, daß Breitengradmessungen allein nicht ausreichten, um die wirkliche Erdgestalt zu erkennen, daß es sich vielmehr empfehle, dieselben durch Längengradmessungen zu vervollständigen. Die Idee hierzu ist bereits bei Kepler nachzuweisen, aber zur praktischen Verwertung verhalf ihr erst Laplace im Jahre 1811. Es kam zunächst darauf an, die zu ihrer Zeit mustergiltige Cassini-Karte zeitgemäß zu verbessern; hierzu sollte eine exakte Ausmessung eines großen Bogens des 45. Parallels verhelfen, und es erhielt Oberst Brousseau den westlichen, Oberst Henry den östlichen Teil dieses Bogens übertragen. Wir werden später sehen, daß, auf verwandte Überlegungen gestützt, Baeyer eine systematische Trian-

gulierung der Erdoberfläche in zwei aufeinander senkrecht stehenden Fortschreitungsrichtungen in die Wege leitete.

Die erwähnte lokale Attraktion war gleichfalls Gegenstand eingehenden Studiums geworden. Ursprünglich hatte man wirkliche Bleilote mit den vertikalen Schenkeln der aufgestellten Kreise oder Kreisteile in Verbindung gebracht; seit Thévenots geistvolle Erfindung der Libelle oder Wasserwage ein ganz unverhältnismäßig besseres Hilfsmittel zur Wagerechtstellung, und damit auch zur Senkrechtstellung, an die Hand gegeben hatte, kam selbstredend dieses allein zur Verwendung. Im allgemeinen fand sich, wie namentlich Carlini und W. Fuchs (1802—1853) in der oberitalienischen Ebene bemerkten, eine wirkliche, d. h. positive Anziehung, aber nach und nach kam man auch in den Besitz von geradezu entgegengesetzten Thatsachen. Zumal die indischen Vermessungsarbeiten machten mit der merkwürdigen Eigenschaft einer gigantischen Gebirgsmauer, des Himalaya, vertraut, nicht sowohl das Lot anzuziehen, als vielmehr abzustoßen, so daß also eine negative Ablenkung eher auf einen Massendefekt als auf einen Massenüberschuß hinzuweisen schien.

Alle diese Umstände wirkten zusammen, um die Vermutung nahe zu legen, daß die Erdoberfläche doch wohl einer absoluten Regelmäßigkeit entbehren müsse. Für die Praxis allerdings glaubte man von den theoretisch unabweislichen Abweichungen Abstand nehmen zu können, und nach wie vor erachtete man sich autorisiert, aus einer thunlichst großen Zahl von Gradmessungen einen relativ besten Wert der Erdabplattung vermittelst der Wahrscheinlichkeitsrechnung herzuleiten. Dieser Aufgabe haben sich Ed. Schmidt (1803—1832) und Bessel mit Hingebung unterzogen; ersterer in dem für seine Zeit einen hohen Rang einnehmenden „Lehrbuch der mathematischen und physischen Geographie" (Göttingen 1829 bis 1830), letzterer in einem Aufsatze aus dem Jahre 1837. Die Zahlen Bessels werden noch jetzt fast durchweg als diejenigen hingenommen, welche ein besonders hohes Vertrauen verdienen, und es verhält sich auch wirklich so, obwohl unsere Grundanschauung in den seitdem verflossenen sechzig Jahren eine ganz andere geworden ist. Wenn Bessel die Erdabplattung gleich $^1/_{299}$ setzt,

so könnten wir ihm ja wohl entgegenhalten, daß es einen einheitlichen Wert dieser Art gar nicht giebt, daß vielmehr jeder Meridian seine eigene Abplattung hat. Würde man aber alle diese Größen vereinigen und den Mittelwert aufsuchen, so käme man doch wieder zu einer mit der Besselschen sich wesentlich deckenden Zahl. Encke that insbesondere auch dar, daß die erwähnten Maße sich auch mit der Gradmessung vereinbaren lassen, welche Maclear im Kaplande vornahm, und welche sich in der Hauptsache als Revision der von La Caille fast hundert Jahre zuvor durchgeführten darstellte.

Nächst der Größe und Gestalt unseres Planeten muß man auch deren Dichte und Masse zu erforschen versuchen; zwei Größen, die unter sich in engster Verbindung stehen, denn wenn man den kubischen Inhalt des Erdkörpers nach geometrischen Regeln berechnet und damit in die Masse dividiert, so erhält man denjenigen Mittelwert für die Dichte, der einer vollkommen gleichartigen Stoffverteilung (Homogeneität) entspräche. Im 18. Jahrhundert hatten, der Einleitung zufolge, Maskelyne, Hutton und Lord Cavendish, nach zwei verschiedenen Methoden, und auch mit verschiedenem Erfolge die Bestimmung der Erddichte $\triangle$ angestrebt. Der von den beiden Erstgenannten eingeschlagene Weg konnte keine große Zuverlässigkeit versprechen, doch kam immerhin Oberst H. James (1803 bis 1877), indem er sich an das nämliche Prüfungsobjekt, den Berg Shehallien, hielt, zu dem recht gut stimmenden Werte $\triangle = 5{,}32$. Die meisten Forscher suchten das Cavendishsche Verfahren auszubilden, indem sie die Ablesung an der sogenannten Drehwage verfeinerten, und wirklich muß von den Beobachtungsreihen von Baily, F. Reich (1799—1882) und Airy ausgesagt werden, daß sie den besten Leistungen der neueren Präzisionsphysik an die Seite zu stellen sind. Airy änderte das bisherige Verfahren noch in der Weise ab, daß er die Torsionswage unter der Erde, d. h. in Bergwerksschachten, aufhing und damit also eine äußere Kugelschale von der Anziehung ausschaltete. Es zeigte sich jedoch, daß im letzteren Falle die störenden Einflüsse zu bedeutend sind, denn trotz aller Vorsichtsmaßregeln ließ das Resultat an Genauigkeit zu wünschen übrig. Reichs Zahl, $\triangle = 5{,}66$, hat lange Zeit für den wahrscheinlichsten Wert der Erddichte gegolten. Ein ganz neues

Prinzip war dasjenige, von welchem Carlini Gebrauch machte; er und Plana bestimmten die Länge des Sekundenpendels am Fuße und auf dem Gipfel eines Berges und schlossen daraus rechnerisch auf △, wofür sie jedoch nur den minder genauen Betrag 4,84 erhielten. An und für sich ist ja die Grundidee unangreifbar, aber der Montcenis, an dem die beiden italienischen Gelehrten operierten, liegt inmitten eines massigen Gebirgszuges, so daß unkontrollierbare Einwirkungen mitspielen mußten. Als man später die nämlichen Beobachtungen auf einem isoliert aufragenden Berge anstellte, gelangen sie bei weitem besser.

Übereinstimmend ist bei allen diesen Verfahrungsweisen, daß die Attraktion, welche zwei terrestrische Körper aufeinander ausüben, mit der Attraktion der Gesamterde verglichen wird. C. A. F. Peters (1806—1880) wies 1845 nach, daß eine Masse, wie sie die große (Cheops-)Pyramide in sich vereinigt, die Luftblase der Wasserwage in meßbarem Betrage aus ihrer Normallage abzulenken im stande ist. Ein sehr geistvolles Hilfsmittel zur Messung feiner Anziehungsdifferenzen war schon viel früher (gegen 1830) durch einen bayerischen Studenten, Namens L. Hengler, erfunden worden, leider aber bald wieder unverdienter Vergessenheit verfallen, so daß A. Safařik (geb. 1829) und Zoellner viele Jahre später eine förmliche Ausgrabung aus dem Schutte vornehmen mußten. Der Erfinder hatte seinen Apparat Schwungwage genannt; später ist an die Stelle dieser Bezeichnung die treffendere des Horizontalpendels gesetzt worden, denn wirklich hat man es ja mit einem Stabe zu thun, der bifilar sowohl mit der Decke wie auch mit dem Fußboden des Beobachtungsraumes verbunden ist, in der Ruhelage sich horizontal einstellt und auf die kleinsten Störungen mit einer sonst nicht zu erreichenden Empfindlichkeit reagiert. Erst die allerneueste Zeit hat, worüber uns ein späterer Abschnitt dieses Buches belehren wird, die staunenswerte Verwendbarkeit des einfachen Instrumentes voll ausgenützt, und noch steht ihm eine bedeutende Zukunft bevor.

Die Gesetze, nach denen sich die Erde bewegt, sind von Coppernicus, Kepler und Newton thatsächlich und kausal erschlossen worden. Immerhin stand der direkte, sinnenfällige Nach-

weis für die revolutorische Bewegung der Erde im Weltraume lange aus, und erst durch die Entdeckung der Lichtabirrung einerseits, der Jahresparallaxe der Fixsterne andererseits hatte der zweite Hauptsatz des Coppernicus die endgiltige Bekräftigung erfahren. Für den ersten Hauptsatz fehlte eine solche ebenfalls noch bis zum Schlusse des 18. Jahrhunderts, denn es hatten zwar Hooke und Newton richtig erkannt, daß Fallversuche ein Mittel zur Prüfung des Sachverhaltes darböten; fiel ein von namhafter Höhe frei herabfallender schwerer Körper etwas östlich vom Fußpunkte des vom Ausgangspunkte herabgesenkten Lotes nieder, so war damit ausgesagt, daß auf den Körper neben der Schwere noch ein zweiter Impuls gewirkt hatte, bedingt durch den Umstand, daß der Fallpunkt im Laufe eines Tages einen größeren Kreis als der Fußpunkt zu beschreiben hat. Und das ist eben das Wesen der Rotation. Die Fallhöhen, auf welche man sich englischerseits zuerst beschränkt hatte, waren zu gering gewesen, um die Verschiebung, auf die es ankommt, recht klar in die Erscheinung treten zu lassen. Als dann G. D. Guglielmini aus Bologna (gest. 1817) im Jahre 1792 den hohen schiefen Turm Asinelli seiner Vaterstadt zum gleichen Zwecke verwertete, trat die Ostablenkung schon viel deutlicher hervor. Was aber etwa noch vermißt ward, holte etwas über ein Jahrzehnt später J. F. Benzenberg (1777—1846) nach. Derselbe hatte sich bereits durch eine zusammen mit Brandes verfaßte, 1800 erschienene Schrift über Sternschnuppen bekannt gemacht, worin er diese Weltkörperchen zur Bestimmung geographischer Längendifferenzen zu benützen vorschlug; nunmehr verfeinerte er beträchtlich die Technik des Fallexperimentes, indem er erstlich ein genau senkrechtes Abfallen in der ersten Zeiteinheit sicherstellte und dann auch den Punkt, in welchem die herabfallende Kugel eine Bodenplatte traf, genau bestimmte. Die Versuche selbst wurden teils in dem hohlen Turme der Hamburger Katharinenkirche, teils in dem Schachte eines westfälischen Kohlenbergwerkes angestellt, so daß also störende Luftströmungen möglichst abgehalten waren. Gauß fügte der Beschreibung Benzenbergs einen die mathematische Seite der Frage vollkommen klärenden Anhang bei. Reich in Freiberg hat 1832 eine neue höchst gründliche Untersuchung

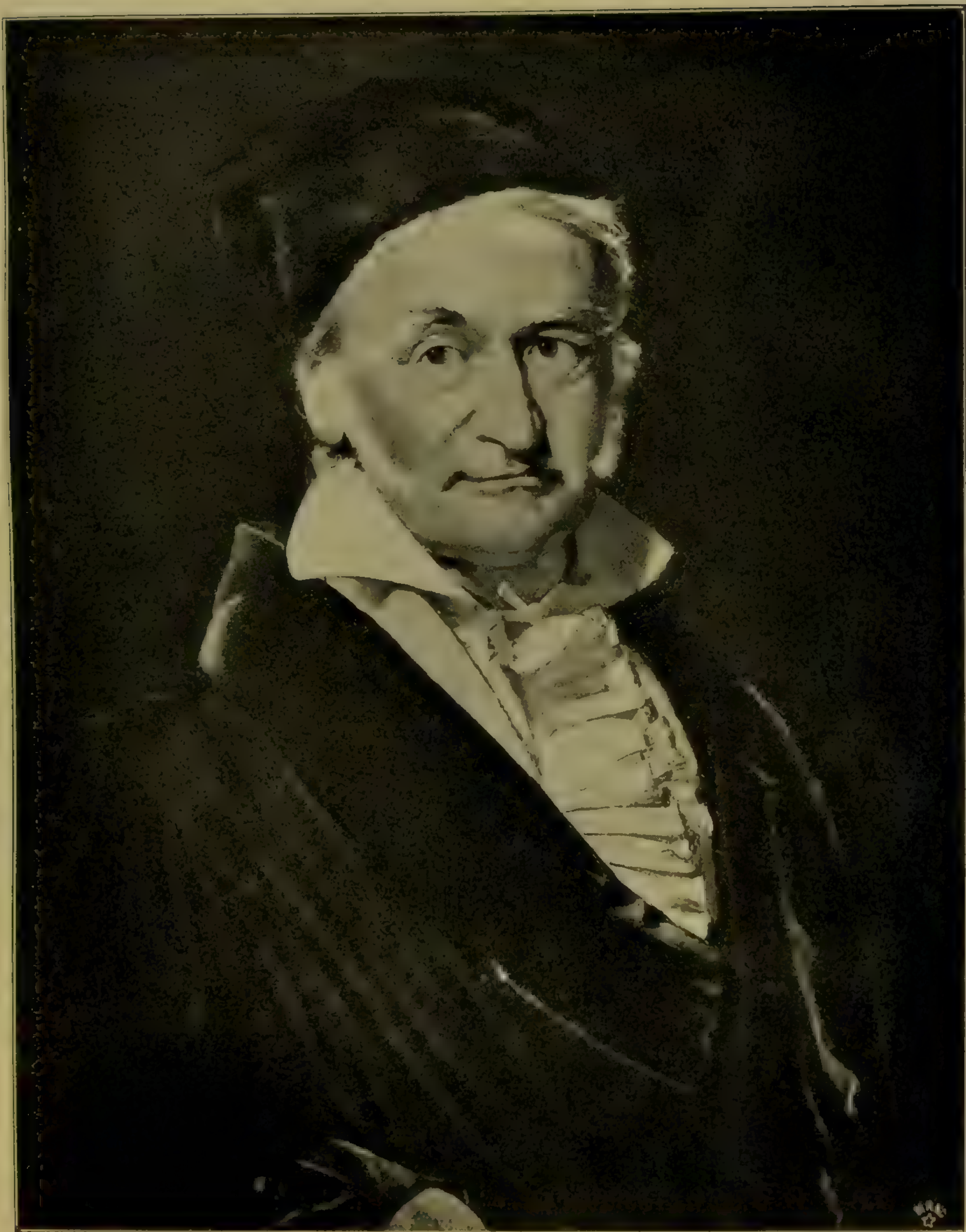
über den freien Fall und dessen Beeinflussung durch die Erdumdrehung angestellt und gefunden, daß, was mit der Rechnung sehr gut stimmt, zu einem senkrechten Falle von 158,5 m eine östliche Deviation von 28,4 mm gehört.

Ebenso wie auf vertikale wirkt die Rotation auch auf horizontale Bewegungen ein; ein bewegter materieller Punkt wird auf der Nordhalbkugel stetig nach rechts, auf der Südhalbkugel stetig nach links abgelenkt. Es ist über diese Erscheinung, die natürlich nicht eintreten würde, wenn die Erde die Gestalt eines Zylinders und nicht die einer Kugel hätte, viel geschrieben worden; gewöhnlich aber wird übersehen, daß Poisson, jener uns schon bekannte ausgezeichnete Mathematiker, der an Virtuosität in der analytischen Einkleidung und Behandlung naturwissenschaftlicher Aufgaben mit einem L. Euler wetteiferte, im Jahre 1838 Art und Maß der Azimutalveränderung scharf bestimmte. In Deutschland hat K. L. E. Lottner (1826—1887), in Nordamerika sehr ausführlich W. Ferrel (1817—1891) die Bethätigungen der ablenkenden Kraft in den Bewegungen der Luft und des Wassers nachgewiesen, und noch heute bedarf es der weiteren Arbeit auf einem ungemein verzweigten Gebiete, welches zu den verschiedensten Teilen der physischen Geographie in enger Beziehung steht.

Unter gewöhnlichen Umständen sind die hier betrachteten Wirkungen der Erdumdrehung doch zu geringfügig, als daß sie Anspruch darauf erheben könnten, als ein direkter Beweis für die Richtigkeit des ersten coppernicanischen Hauptsatzes anerkannt zu werden. Im 17. und 18. Jahrhundert glaubte man diesen Beweis auf die wahrgenommene Drehung der Schwingungsebene eines Pendels gründen zu können, allein die Wahrnehmungen, welche in dieser Hinsicht da und dort gemacht worden waren, konnten keinesfalls als einwurfsfrei gelten, und erst 1851 trat durch die zwar vorbereitete, trotzdem aber den Meisten ganz überraschend kommende Entdeckung des Pariser Akademikers L. Foucault (1819—1868) der Wandel ein. Derselbe zeigte, daß, wenn ein hinreichend langes und schweres, gegen Luftzug geschütztes Pendel in kleine Schwingungen versetzt wird, die Schwingungsebene nach und nach in alle für eine Vertikalebene möglichen Stellungen gelangt, und

zwar findet man die Anzahl der Stunden, nach deren Umfluß das Pendel wieder zu seiner ursprünglichen Schwingungsebene zurückgelangt, wenn man in die Zahl 24 mit dem Sinus der geographischen Breite dividiert. Für die Pole ist dies gerade ein ganzer Tag, und am Äquator ist eine Drehung überhaupt nicht vorhanden. Foucaults Pendelversuch setzt uns, wenn man eine an der Pendellinse angebrachte Spitze ihren Weg in einen aufgeworfenen Sandhaufen einzeichnen läßt, in den Stand, die Rotation sozusagen mit den Augen zu verfolgen. Im 13. Abschnitte haben die weiteren Schicksale dieses in jeder Hinsicht interessanten Experimentes uns noch etwas eingehender zu beschäftigen.

Nächst der Schwere der Erde ist auch deren Magnetismus in dem uns jetzt beschäftigenden Zeitraume von den Forschern angelegentlicher Fürsorge gewürdigt worden. Wir haben gesehen, daß A. v. Humboldt es war, der hauptsächlich die internationale Regelung der geomagnetischen Beobachtungen anbahnte, welche seitdem so wertvolle Früchte gezeitigt hat. Außerordentlich günstig traf es sich aber, daß diese Bestrebungen zeitlich ziemlich genau zusammenfielen mit jener tief greifenden Vervollkommnung sowohl der Beobachtungsmethoden als auch der Theorie, welche Gauß in den dreißiger und vierziger Jahren bekannt machte. Freilich dauerte es längere Zeit, bis man die ganze Bedeutsamkeit dieses vor- und nachher einzig dastehenden Fortschrittes voll begriffen hatte; selbst Humboldt konnte sich von den ihm lieb gewordenen Apparaten des Pariser Mechanikers H. P. Gambey (1787—1847) lange nicht trennen und zog sich durch diese Vorliebe für das Veraltete die vorübergehende Ungnade seines in solchen Dingen sehr reizbaren Göttinger Freundes zu. Die von Gauß eingeführten Magnetometer, massige parallelepipedische Eisenstäbe, die zur Erzielung größerer Empfindlichkeit an zwei Fäden aufgehangen waren, gewährleisteten nicht allein eine viel schärfere Bestimmung der Absolutwerte von Deklination, Inklination und Intensität, sondern sie waren auch vorzüglich passend als Variationsinstrumente, um die unaufhörlichen Schwankungen der magnetischen Erdkraft messend zu verfolgen. Auch emanzipierte Gauß den Erdmagnetismus von der bisher



Karl Friedrich Gauß

Chr. A. Jensen pinx.

üblichen, ganz unbestimmten und willkürlichen Intensitätseinheit und zeigte, daß es möglich sei, sämtliche Äußerungen der in Rede stehenden Kraft auf dasselbe absolute Maßsystem zurückzuführen, welches in der Mechanik Geltung hat und nichts anderes als Centimeter, Gramm und Sekunde zur Anwendung bringt.

Für die Theorie des Erdmagnetismus hatte es vor Gauß anscheinend nur einen einzigen Weg gegeben, und diesen waren denn auch übereinstimmend alle die Männer gegangen, welche sich an die schwierige Aufgabe herangewagt hatten. L. Euler, Tob. Mayer, Mollweide, J. Biot u. a. hatten übereinstimmend angenommen, daß sich im Inneren der Erdkugel ein Magnetstab befinde, dessen Ort und Dimensionen zunächst noch unbekannt seien. Man müsse diese Größen vorerst hypothetisch annehmen und sie alsdann so bestimmen, daß, wenn man daraus für einen Erdort von gegebenen geographischen Koordinaten die drei erdmagnetischen Elemente berechne, diese mit den Beobachtungsdaten möglichst genau stimmten. Im Jahre 1819 veröffentlichte der Mathematiker C. Hansteen (1784—1873) in Christiania seine „Untersuchungen über den Magnetismus der Erde", worin er das bezeichnete Problem so weit führt, als dies überhaupt geschehen kann. Hansteen hat sich große Verdienste um diesen Teil der Erdphysik erworben, zu dessen Förderung er große und mühsame Reisen im nördlichen Asien, die zur Auffindung der magnetischen Erdpole dienen sollten, nicht scheute, aber seine Mühe muß leider zum großen Teile als eine verlorene bezeichnet werden. Er ging von der Annahme aus, daß jede Hemisphäre zwei solche Konzentrationspunkte der magnetischen Kraft besitzen müsse, allein die Thatsachen haben diese Hypothese nicht bestätigt. Dem gegenüber sagte sich Gauß von jedweder unbewiesenen und unbeweisbaren Voraussetzung los. Wir sprachen in dem der Mathematik eingeräumten Abschnitte von jener merkwürdigen Funktion, welche sämtliche Zweige der Naturlehre beherrscht. Gauß ging von der nicht an sich notwendigen, wohl aber durch die darauf gebauten Schlußfolgerungen bewahrheiteten Annahme aus, daß es ein magnetisches Potential gäbe, dessen Wirkungen sich auf rein mathematische Weise, ohne jede Rücksicht auf seine Entstehung, darstellen lassen müßten, wenn

man nur eine hinlänglich große Zahl von empirischen Daten besitze. Das Potential wurde in Reihen entwickelt, und wenn man diese dann irgendwo abbrach, erhielt man endliche, mit gewissen konstanten Gliedern behaftete Ausdrücke, welche die radiale, die nach Norden und die nach Osten gerichtete Komponente der magnetischen Erdkraft angenähert darstellten; die Konstanten wurden dem vorliegenden Beobachtungsmateriale entnommen. Allerdings sind die drei Größen, welche Gauß berechnete, nicht die drei üblichen Elemente, aber es wurden auch sofort die Formeln hergeleitet, um Deklination, Neigung und Stärke auf die erwähnten drei Seitenkräfte zurückzuführen. Der größte Vorteil des Gaußschen Rechnungsverfahrens beruht, von anderem abgesehen, darin, daß man durch Hinzunehmen einer immer größeren Zahl von Reihengliedern die Genauigkeit nach Willkür zu steigern vermag. Zu den bisher schon vorhandenen Karten der Isogonen, Isoklinen und Isodynamen traten nun auch solche der magnetischen Niveaulinien, der Kurven gleichen geomagnetischen Potentiales hinzu; diese Linien haben die Eigenschaft, daß für einen gegebenen Ort die Deklinationsnadel senkrecht auf ihnen steht.

Aus dem neuen Kalkul ergab sich, daß jeder Halbkugel nur ein einziger Magnetpol zukomme, daran erkennbar, daß beim Herantreten an ihn die Neigungsnadel sich immer steiler gegen die Horizontalebene einstellt und zuletzt mit dieser einen rechten Winkel bildet. Gauß hatte die ungefähre Lage des Nordpoles in den Archipelen der „Nordwestlichen Durchfahrt“ bestimmt, und am 1. Juni 1841 fand der kühne Seefahrer John Roß (1777 bis 1856) den gesuchten Punkt glücklich auf. Er gehört der Halbinsel Boothia Felix an (70° 5′ 17″ nördl. Breite; 96° 46′ 45″ westl. Länge von Greenwich). Dadurch war auch dem Fernerstehenden ein Einblick in die Tragweite der neuen Methode eröffnet, denn daß die bis dahin ängstlich festgehaltene Magnetstabhypothese in der Praxis zumeist unzulängliche Resultate gezeitigt hatte, war nur allzu wohl bekannt.

Neben Gauß hat sich in den Jahrbüchern dieser Disziplin in der fraglichen Periode besonders verewigt ein Schotte, der aber durch die Verhältnisse zum Deutschen geworden war. Johann

Lamont (1805—1879) war zu Braemar geboren und kam als Knabe in das Kloster der Schottenmönche zu Regensburg, deren traditionelle treffliche Erziehung ihm zu teil ward. Schon 1827 wurde er Assistent des Obersteuerrates J. v. Soldner (1777 bis 1833), dem, als Leiter der bayerischen Katastervermessung, auch die Vorstandschaft der mehrerwähnten neuen Sternwarte in Bogenhausen übertragen war; von 1835 an Konservator, übernahm er die Direktion und die mit ihr verbundene Professur der Astronomie an der Universität München im Jahre 1852. In seiner früheren Zeit hat Lamont, der später den bayerischen Verdienstadel erhielt, sehr wertvolle astronomische Arbeiten geliefert, doch gehörte sein Interesse mehr noch der Geophysik. Ihm sind unter anderem die ersten rationellen Messungen über die Wärmebewegung in den oberen Schichten des Erdbodens zu danken, wofür er sein zweckdienliches Bodenthermometer konstruierte. Seine meteorologischen Leistungen fallen der Hauptsache nach in einen späteren Zeitabschnitt. Gerade seine jüngeren Jahre aber waren erfüllt von ausgedehnten Studien über den Erdmagnetismus, dessen Kenntnisnahme sein in der Litteratur einzig dastehendes „Handbuch des Erdmagnetismus" (Berlin 1849) wesentlich erleichterte. Größere Reisen durch Deutschland, in erster Linie natürlich durch Bayern, führten zu einer erstmaligen magnetischen Landesaufnahme, und Lamonts Vorgehen ist für ausländische Forscher vorbildlich geworden. Da in solchen Fällen die Mitführung größerer Apparate sich von selber verbot, so kam der neue magnetische Reisetheodolit mit Recht zu besonderer Ehre, denn sehr leicht konnte man mit dessen Hilfe Mißweisung, horizontale und vertikale Intensität bestimmen, und die beiden letzteren ergaben wiederum die Inklination. Von den „Annalen für Meteorologie, Erdmagnetismus und verwandte Gegenstände", welche Lamont im Vereine mit Grunert, Koller, Kreil, Plieninger, Stieffel und Quetelet herausgab, sind leider nur vier Hefte (1842—1844) erschienen, gerade genug, um das baldige Wiedereingehen der Zeitschrift lebhaft bedauern zu lassen.

Von den Mitarbeitern, deren Namen soeben genannt worden sind, geben zwei uns Veranlassung, ihrer etwas eingehender zu

gedenken; es sind dies der Österreicher K. Kreil (1798—1862) und der Belgier L. A. J. Quetelet (1796—1874). Auch sie beide begannen ihre Laufbahn als Astronomen, um sich dann mehr und mehr geophysikalischer Arbeit — der zweitgenannte daneben auch noch der mathematischen Statistik — zuzuwenden. Kreils Verdienst ist es, den zwar nicht ganz zu leugnenden, aber doch gegenüber anderen Momenten sehr in den Hintergrund tretenden Einfluß erörtert zu haben, welchen der Mond auf die Bethätigungen der magnetischen Erdkraft ausübt; auch bestimmte er genauer die magnetischen Abweichungen, welche auf Rechnung der Alpen zu setzen sind und schon von Humboldt und Gay-Lussac in Betracht gezogen worden waren. Kreils magnetische Durchforschung der österreichisch-ungarischen Monarchie ließ ihn als den geeigneten Mann erscheinen, um die 1851 unter dem wissenschaftsfreundlichen Unterrichtsminister Grafen Leo v. Thun geschaffene „Zentralanstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus“ in Wien zu leiten; ein Musterinstitut, zu welchem sich später ein ähnliches in Budapest gesellte. Eine verwandte Aufgabe erfüllte unter Quetelets Vorstandschaft die Brüsseler Sternwarte. Insbesondere lieferte derselbe auch Beiträge zur Erforschung der Veränderungen, welchen der magnetische Zustand im Hochgebirge ausgesetzt ist.

Neben dem magnetischen war seit Beginn des 19. Jahrhunderts auch das thermische Verhalten des Erdkörpers beachtet worden. Man wußte seit de la Hire, daß eine neutrale Fläche, in der z. B. der Keller der Pariser Sternwarte mit seinem so gut wie ganz unveränderlichen Thermometerstande gelegen ist, das mit Eigenwärme begabte Erdinnere von einer dünnen äußeren Haut trennt, deren Temperatur durch die Sonnenstrahlung bedingt ist. Über das Eindringen der Sonnenwärme waren von Lambert in dessen „Pyrometrie“ (1779) analytische Betrachtungen angestellt worden. Mit der Wärmeverteilung in größerer Tiefe hatte sich zuerst Saussure beschäftigt; ihm folgten vornehmlich Bergleute, wie v. Trebra, Gensanne, Lean, Fox, d'Aubuisson und vor allen P. L. A. Cordier (1777—1861); letzteren hatten die Ratschläge Humboldts, mit dem er fünfzig Jahre lang in treuer

Freundschaft lebte, zu seinen Untersuchungen angeregt. Es fand sich, daß allenthalben auf der Erde von der neutralen Fläche an eine radiale Zunahme der Temperatur stattfindet, natürlich nicht überall gleich rasch, wohl aber stetig, falls nicht örtliche Zufälligkeiten die Gesetzmäßigkeit beeinträchtigen. Das Erkalten des in früheren geologischen Zeitaltern mit einem unverhältnismäßig größeren Wärmevorrate begabten Erdballes suchten Fourier und Poisson mathematisch aufzuklären; nach Fourier würde die aus dem Inneren dringende, durch Strahlung an den kalten Weltraum abgegebene Wärmemenge genügen, um im Laufe eines Jahrhunderts eine die Erdoberfläche umziehende Eisschicht von 3 m Dicke zu schmelzen. Die Theorie suchte der Geologe K. G. Bischof (1792 bis 1870) in zwei den Jahren 1837 und 1841 entstammenden Abhandlungen durch Experimente mit einer glühenden Basaltkugel zu verifizieren, und diese sind auch unter allen Umständen wertvoll, so wenig man sich auch mit dem extrem neptunistischen Standpunkte des Genannten einverstanden erklären mag. Andere dachten natürlich daran, die interne Temperatursteigerung mit neuen Anschauungen über die innere Beschaffenheit der Erde in ursächliche Verbindung zu bringen. Bereits Benjamin Franklin, der Erfinder des Blitzableiters, hatte sich für die Erfüllung eines großen zentralen Hohlraumes mit stark verdichteten Gasen ausgesprochen, und die deutschen Physiker Lichtenberg und Chladni hatten diese Hypothese mit neuen Argumenten gestützt. G. W. Muncke in Heidelberg (1772—1847) hatte sich dagegen mit einem gewissen Fanatismus gegen eine so verwegene Durchbrechung hergebrachter Ansichten erklärt, und es gelang ihm auch, sie einstweilen zurückzudämmen, bis sie dann in viel späterer Zeit ihre Wiederauferstehung erlebte. Auch die Behauptung v. Zachs, Marschall v. Biebersteins und des phantasievollen Gruithuisen, unser Planet sei ein Konglomerat von Meteoriten, wurde mit Recht skeptisch aufgenommen, aber schließlich läuft die in unserer Zeit viel besprochene Theorie des berühmten Spektroskopikers Lockyer doch ganz auf das Gleiche hinaus.

Zu einer wissenschaftlichen Meereskunde waren vor hundert Jahren die Anfänge vorhanden, keineswegs unbedeutend nach Zahl

und Art, aber noch zu vereinzelt, um die Ausarbeitung einer wissenschaftlichen Ozeanographie zu ermöglichen. J. J. Ottos (1743—1814) Lehrbücher aus den Jahren 1800 und 1808 gewähren einen ganz guten Überblick über den Wissensstand, den man damals erreicht hatte. Aber seitdem ging es rasch vorwärts; wissenschaftliche Expeditionen, auch Weltumsegelungen, die vordem eine große Seltenheit gewesen waren, mehrten sich rasch, und der massenhaft zuströmende Stoff wurde, vorab in Großbritannien, eifrig verarbeitet. Es sei nur an die Reisen von Baudin-Péron, v. Kotzebue-v. Chamisso, v. Krusenstern-Horner erinnert, indem wir absichtlich von England schweigen, das ja zumal für die Polarforschung so Großes geleistet hat, wie die Namen John Franklin, Mackenzie, John und James Roß, Parry, Mac Clure, Mac Clintock und viele andere bekunden. Ein eigener Abschnitt führt uns später auf diese Männer zurück.

Eine Ausmessung des von Salzwasser bedeckten Teiles der Erdoberfläche wurde von K. Zimmermann und erwähntermaßen von Rigaud in Oxford dadurch bewerkstelligt, daß man die aus einer in äquivalenter Projektion gehaltenen Karte ausgeschnittenen Flächenstücke wog. Auch der Meteorologe Dove leistete hierzu einen Beitrag, und um 1850 war das Verhältnis der Areale von Wasser und Land mit ziemlicher Genauigkeit ermittelt. Von den Meerestiefen wußte man lange wenig, obwohl es an Tiefensondern, Bathometern, außer dem für mittlere Tiefen nach wie vor zweckmäßigsten Senkblei, durchaus nicht mangelte. Die schon dem 17. Jahrhundert angehörige Idee, durch den automatisch zu registrierenden Wasserdruck indirekt eine Tiefenmessung zu ermöglichen, suchte der dänische Physiker H. C. Oersted (1777—1851) zu verwirklichen, aber für eine so schwierige Leistung der Technik war die Zeit noch nicht gekommen. Auch die Auslösevorrichtungen von Stipria an Luiscius und Bacialli hatten mehr bloß theoretischen als wirklich praktischen Wert. Die zuverlässigsten Lotungen waren jene, welche die für die physische Erdkunde auch sonst sehr inhaltreichen Werke (London 1820; Edinburgh 1823) des Kapitäns W. Scoresby (1789—1857), eines gewiegten Walfischfängers, mitteilten. Marine Temperaturmessungen waren

von jeher bei Gelegenheit angestellt worden, aber erst Humboldt, der bei seiner Überfahrt nach Amerika (1799) selbst das Thermometer eifrig handhabte, regte eine lebhaftere und systematischere Thätigkeit auf diesem Gebiete an. Einen geeigneten Wärmemesser erfand J. Six (gest. 1793), freilich auch noch nicht allen Wünschen genügend. Man wußte, daß es in größeren Abständen von der Oberfläche immer kälter werde, und aus dieser Thatsache glaubte F. Péron (1775—1810) den ungeheuerlichen Schluß ziehen zu dürfen, daß in sehr hohen Breiten der Meeresgrund mit einer niemals schmelzenden Eisrinde überzogen sei. Hiegegen ist besonders bestimmt L. v. Buch aufgetreten. Noch herrschte in nautischen Kreisen vielfach die in entgegengesetztem Sinne irrige Meinung, salziges Wasser könne nicht gefrieren. Die Versuche von Monge, Chaptal, G. F. Parrot (1767—1852), F. Marcet und Anderen stellten das Gegenteil fest, und die Berichte der Polarfahrer, zu denen solche grönländischer Glaubensboten kamen, beseitigten jeden Zweifel darüber, daß in den nördlichen Meeren Eis von zweierlei Beschaffenheit schwimme, solches, welches durch unmittelbares Gefrieren gebildet sei (Eisfelder), und solches, welches sich von weit vorgeschobenen Gletschern abgelöst habe (Eisberge). Zu Beobachtungen über Wasserfärbung bediente sich Humboldt des von Saussure zur Bestimmung der Himmelsbläue vorgeschlagenen Kyanometers, und Scoresby thut fleißig der Tinten Erwähnung, in denen er die See bei verschiedenen Gelegenheiten erstrahlen sah. Durchsichtigkeitsbestimmungen vermittelst der Versenkungsscheibe scheint nach Scoresby zuerst das Schiff „Coquille“ vorgenommen zu haben, und es ist deshalb nicht statthaft, dieses Verfahren mit dem Namen Secchis zu belegen, der allerdings vielleicht von seinen Vorläufern keine Kunde hatte. Das Meeresleuchten hatte Humboldts Scharfblick als eine wesentlich aus dem Reizungszustande organischer Wesen abzuleitende Lichterscheinung erklärt; das Mikroskop lieferte dafür in den Händen C. G. Ehrenbergs den entscheidenden Nachweis, denn diesem großen Naturforscher gelang es, Lichtinfusorien zu isolieren und zu zeigen, daß solche Tierchen das Hauptkontingent bei der Erzeugung eines phosphoreszierenden Glanzes des Wassers stellen.

Auch Dichte und Salzgehalt waren schon in vielen Fällen aräometrisch bestimmt worden. Man hatte den alten Wasserschöpfapparat von Hales mannigfach verbessert, und zur Untersuchung der aufgeholten Proben dienten ebenfalls verschiedene Vorrichtungen, deren Typus das 1787 von Nicholson erfundene Aräometer abgab. Auch die chemische Zusammensetzung des Meerwassers war Gegenstand der Forschung geworden; Balard schied daraus einen neuen Grundstoff, das Brom, ab. Auch die Frage, woher denn die Salzigkeit des Meeres komme, ist schon damals ventiliert worden, und Parrot gab darauf die richtige Antwort, daß nämlich die Salinität den Normalzustand darstelle, und daß mithin nicht die Ozeanographie, sondern die Geologie zur Entscheidung solcher Bedenken zuständig sei.

Die Wellenlehre hatte aus den Laboratoriumsversuchen, denen der übernächste Abschnitt gerecht werden soll, die namhaftesten Vorteile gezogen, was auch der Betrachtung der Meereswellen zu statten kam. Doch fehlten noch genaue Messungen der Höhe und Fortpflanzungsgeschwindigkeit, und nur wenige Seefahrer, an ihrer Spitze wiederum Scoresby, bemühten sich um die Feststellung solcher Größen. Franklins Bericht von der Wellenbesänftigung durch Öl hatte eine lebhafte Diskussion im Gefolge, als deren Endergebnis die Auffassung bezeichnet werden kann, daß durch das entstehende zähe Ölhäutchen die direkte Berührung des Wassers mit der bewegten Luft verhindert werde. Die Meeresströmungen waren das besondere Arbeitsgebiet des trefflichen englischen Ingenieurgeographen J. Rennell (1742—1830); wenn auch die nach ihm „Rennellstrom“ benannte Abzweigung des Golfstromes nach dem Golfe von Biscaya thatsächlich nicht existiert, so kann er doch als der Begründer einer tieferen wissenschaftlichen Einsicht in die großen Zirkulationssysteme des Atlantischen und auch — soweit von solchen gesprochen werden kann — des Indischen Ozeanes gelten. Eine befriedigende Erklärung der stationären Meeresbewegung wußte man noch nicht zu geben, obwohl man Temperatur- und Salinitätsdifferenzen gelegentlich als Ursachen nannte. Rennell hatte, im Anschluß an Franklin und Kant, ganz wohl den Zusammenhang gewisser Meeres- und Luftströmungen erfaßt, allein derselbe sollte

nur für sogenannte Triftströmungen Bezug haben, und so gab man freiwillig einstweilen das Mittel aus der Hand, welches den so schwierig erscheinenden Sachverhalt in überraschend einfacher Weise klären konnte.

Ungleich eingehender wurde die Theorie der Gezeiten behandelt. Was die Anwendung seiner Analyse zu leisten vermag, zeigte Laplaces „Mécanique céleste“, und die sogenannte dynamische Theorie von Ebbe und Flut, welche die neueste Zeit ausgebildet hat, lehnt sich ganz an jenes fundamentale Werk an. Daß angesichts der unendlichen Mannigfaltigkeit der Küstenlinien und Meerestiefen trotzdem die Vorausberechnung der Zeiten, in denen ein Maximum der An- und Abschwellung eintritt, nicht immer mit der Erfahrung stimmt, leuchtet an sich ein. Zumal in England sah man sich unter diesen Umständen zu Verbesserungsversuchen veranlaßt, an denen sich unter anderen Challis, Lubbock und mit besonderem Eifer W. Whewell (1794—1806), der Verfasser der in ihrer Art ausgezeichneten „History of the Inductive Sciences“ (London 1837—1847), beteiligten. Whewell ging von der Ansicht aus, daß die im Laufe von etwas über 24 Stunden zweimal um die Erde herumlaufende Gezeitenwelle im Großen Ozean entstehe, und daß man deren Ausbreitung durch Eintragung der sogenannten Kotidallinien in einer Karte deutlich machen könne. Die Grundlage dieser Abänderung der Newton-Laplaceschen Lehre erwies sich nicht als haltbar, aber das Prinzip, die durch einen undulatorischen Impuls gleichzeitig betroffenen Punkte der Wasserfläche durch einen Kurvenzug zu verbinden, hat auch davon abgesehen seine Brauchbarkeit bewährt.

Dem Salzwasser lassen wir in unserer Übersicht gleich das Süßwasser folgen. Man begann auch die Binnenseen als ein geeignetes Forschungsobjekt zu erkennen, und namentlich der Genfer-See, der seit mehr denn hundert Jahren eine Elite von geistvollen Freunden der Natur an seinen Ufern vereinigt gesehen hatte, spielte in der Geophysik eine wichtige Rolle. Die sogenannten Seiches, periodische Hebungen und Senkungen des Seespiegels, wurden anhaltend beobachtet, und des Botanikers J. P. E. Vaucher (1763—1841) gründliche Studie über diese merkwürdigen stehenden

Wasserwellen kann jetzt noch als eine Fundgrube für die genauere Ergründung der seitdem auch an gar vielen anderen Orten nachgewiesenen Erscheinung gerühmt werden. Tiefenlotungen waren an schweizerischen Seen schon zum öfteren vorgenommen worden, und auch in den Ostalpen regte sich ein entschiedenes Interesse für die Limnologie. Gegen das Ende der vierziger Jahre trat Fr. Simony (1814—1898) seine bald so fruchtbar und auch für den Unterricht nützlich gewordene Forscherlaufbahn an, welche bewirkte, daß die oberösterreichischen Seen bald zu den in physiographischer Hinsicht bekanntesten gehörten.

Die Stromkunde wurde um die Jahrhundertwende weit mehr aus hydrotechnischen, als aus physisch-geographischen Gründen gepflegt, allein es konnte nicht fehlen, daß auch die allgemeine Erkenntnis gehoben werden mußte, wenn so gewaltige Regulierungsarbeiten zur Ausführung gelangten, wie diejenigen Tullas (1770—1828) am Oberrhein, H. Escher v. d. Linths (1767 bis 1823) in der Schweiz. Über den Bau der Flußbetten und über die Bewegung des Wassers nachzudenken, gab A. v. Humboldts Bericht über den natürlichen Stromkanal Cassiquiare zwischen Rio Negro und Orinoko reichliche Veranlassung. Noch jetzt sieht sich der Geograph dann und wann veranlaßt, Anleihen zu machen bei zwei ausgezeichneten deutschen Wasserbaumeistern aus der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts; bei J. A. Eytelwein (1764—1848) und bei K. F. v. Wiebeking (1762—1842). Als nach dem Rastatter Kongresse die Verhandlungen über die Rheingrenze und die territoriale Zugehörigkeit der zahlreichen Flußinseln ihren Anfang nahmen, wurde v. Wiebeking als Sachverständiger — er war damals hessischer Oberbaudirektor — zugezogen und bewirkte, daß der Thalweg des Flusses zur Grenzlinie genommen wurde; dieser topographische, nachher auch von den Geometern adoptierte und vielfach diskutierte Begriff war damals den Diplomaten etwas ganz Neues, fand aber bei den Franzosen solchen Anklang, daß sie ihn, ohne je den Versuch einer sinngemäßen Übersetzung zu machen, wortwörtlich in ihre eigene Sprache herübernahmen.

Die eifrigste Förderung wurde in dem Zeitraume 1800 bis 1850 der atmosphärischen Physik zu teil, deren Scheidung in

Meteorologie im engeren Sinne und in Klimatologie zwar noch nicht mit voller Klarheit durchgeführt, aber doch vorbereitet ward. Man erforschte genauer die Zusammensetzung des Luftkreises, und durch Humboldt, Gay-Lussac, Volta u. a. ward die Eudiometrie im ganzen auf den gegenwärtigen Stand gebracht, indem man das gegenseitige Gewichtsverhältnis von Sauerstoff, Stickstoff und Kohlensäure fixierte. Die Bedeutung des Wasserdampfes dagegen war noch lange nicht allseitig erkannt; Lichtenberg hatte zwar die am Ende des 18. Jahrhunderts vorherrschende Meinung, das Wasser gehe mit der Luft eine chemische Verbindung ein, glücklich widerlegt, aber erst durch die mit 1805 beginnenden, seit 1826 eine immer exaktere Gestalt annehmenden Arbeiten J. Daltons (1766—1844) wurde dem wichtigen Satze zum Durchbruche verholfen, daß die atmosphärische Luft ein bloß mechanisches Gemenge der in ihr enthaltenen Gase und Dämpfe sei; ebenso auch dem zweiten Satze, daß Luft und Dämpfe sich in ihren Druckwirkungen nicht etwa stören, sondern das der Gesamtdruck der Summe der Pressungen der einzelnen Bestandteile gleichzusetzen ist. Beim Eingang der dreißiger Jahre wurde, was man an gesicherten meteorologischen Kenntnissen besaß, in zwei deutschen Werken, von G. Schübler (1787—1834) 1831 und von L. F. Kämtz (1801 bis 1867) 1831—1832 zusammengefaßt und es ist das zweitgenannte noch für unsere Gegenwart ein wertvolles Repertorium, wie denn überhaupt Kämtz als Physiker und Meteorologe der Wissenschaft große Dienste erwies. Er wurde 1865 zur Leitung des physikalischen Zentralobservatoriums zu Pawlowsk bei St. Petersburg berufen, welches 1843 gegründet und der Aufsicht des um die meteorologisch-magnetische Durchforschung Rußlands überaus verdienten A. T. **Kupffer** (1799—1865) übertragen worden war.

Ein bemerkenswerter prinzipieller Fortschritt war um jene Zeit vollzogen; die Astrometeorologie war, wo nicht gänzlich beseitigt, so doch allseitig kritischer, ja skeptischer Prüfung ihrer Berechtigung unterstellt worden, und die Meteorologen suchten die Triebfedern der großen atmosphärischen Bewegungen da, wo sie auch allein gesucht werden dürfen, nämlich in der Atmosphäre selbst. Ein vorzeitig in die Erde gesenkter Keim ging vorläufig noch nicht

auf; wäre ein Gedanke, den H. W. Brandes (1777—1834) im Jahre 1820 aussprach, in seinem vollen Umfange richtig verstanden worden, so wäre die Meteorologie vor manchem Irrwege bewahrt geblieben, den sie in den nächsten Jahrzehnten eingeschlagen hat. Brandes verband alle Orte eines bestimmten Bezirkes, für welche gleichzeitig das Barometer auch gleich hoch stand, durch Kurven (Isobaren) und untersuchte dann, welche Windrichtungen innerhalb dieses Bereiches vermerkt worden waren. Er faßte den aus seinen Diagrammen gewonnenen Gesamteindruck zusammen in der These: Der Wind weht von einem Orte sehr hohen Luftdruckes (barom. Maximum) zu dem nächst benachbarten Orte besonders niedrigen Luftdruckes (barom. Minimum). Hätte Brandes auch die Mitwirkung der Erdumdrehung gehörig berücksichtigt, so wäre er der Entdecker des Gesetzes geworden, von dem die ganze meteorologische Dynamik der Neuzeit abhängt. So aber trat zunächst eine ganz andere Richtung in den Vordergrund, und diejenige Art des Studiums der Luftbewegung, welche wirkliche Ordnung in die anscheinende Anarchie zu bringen gestattet, wurde wenigstens in Europa ganz beiseite geschoben. Die Amerikaner W. C. Redfield (1789—1857), J. P. Espy (1786 bis 1860) und Ferrel, dessen wir bereits gedachten, sind die eigentlichen Vorkämpfer jenes Umschwunges, der gegen das Jahr 1860 hin die meteorologische Wissenschaft von Grund aus umgestaltete; sie richteten das Hauptaugenmerk auf die gewaltigen Wirbelstürme der westindischen Meere und setzten für sie die Herrschaft wirbelnder Bewegungen außer Zweifel. Ihnen trat als Gefährte zur Seite W. Reid (1791—1858), als Gouverneur der Bermudas und der Antillen-Insel Barbados wohl vertraut mit jener verheerenden Naturerscheinung, deren Wesen er in einem 1838 ausgegebenen mustergiltigen Werke schilderte; dasselbe soll sogar ins Chinesische übertragen worden sein. Alle diese Autoren, unterstützt von dem als Kenner nautischer Praxis geschätzten Piddington, entnahmen den theoretischen Feststellungen auch brauchbare Manövrierregeln, die den Kapitän befähigen sollen, sein Schiff, sobald durch jähes Fallen des Barometers das Herannahen eines Drehsturmes als gesichert erkannt ist, möglichst aus der gefähr-

lichen Achse des Sturmfeldes herauszubringen. Auch an den Meeresküsten lernte man das Barometer als Sturmverkündiger schätzen, und darum war seit seiner Berufung in den hydrographischen Dienst des Handelsamtes (1846) R. Fitzroy (1805—1865) angelegentlich bemüht, eine geregelte Organisation für Sturmwarnungen in das Leben zu rufen. Seine guten Absichten wurden durch Unverstand und Schlendrian lange derart gekreuzt, daß der reizbare Mann sich mit eigener Hand den Tod gab, aber seine Idee brach sich Bahn, und gegenwärtig giebt es kaum noch ein Kulturland ohne Vorkehrungen zur Pflege der litoralen Meteorologie.

Auf dem Kontinente übte in der Zeit von 1830 bis 1860 H. W. Dove (1803—1879) einen geradezu unermeßlichen Einfluß auf die Lehre von Wind und Wetter aus. Ein unparteiischer Beurteiler wird zugestehen müssen, daß er diesen Einfluß auch auszuüben verdiente, und daß ihm namentlich die Klimakunde außerordentlich viel zu danken hat. Nicht minder ist anzuerkennen, daß auch seine Auffassung der Luftbewegung eine ursprünglich korrekte war, und daß er nur mit der Zeit die atmosphärischen Vorgänge, die nun einmal individuell betrachtet sein wollen, allzu strenge in die Zwangsjacke einer Regel preßte, die für niedrige Breiten zutraf, für höhere aber nicht mehr ohne weiteres angewandt werden durfte. Von der Thatsache ausgehend, daß über besonders stark erhitzten Stellen ein aufsteigender Luftstrom sich bilde und daß in den luftverdünnten Raum Luft von allen Seiten hereingesaugt werde, zu deren Ersatz dann wieder absteigende Ströme die kalte Luft von oben nach unten bringen müßten, konstruierte Dove für die Gesamterde je zwei große, durch die Rotation aus der meridionalen Richtung abgelenkte, entgegengesetzte Luftströme, einen Strom gegen den Äquator in geringerer und einen Strom gegen die Pole in größerer Entfernung vom Boden. Da, wo beide Ströme ineinander eindrangen, bekämpften sie sich gegenseitig, und aus diesem Kampfe hinwiederum sollte die Launenhaftigkeit der Witterung erklärt werden. Es hat, auch nachdem diese schablonisierende Theorie Gegner gefunden, doch noch lange gedauert, ehe sie ihre eigentliche Herrschaft einbüßte, und vielfach wird jetzt noch

das Dovesche Winddrehungsgesetz als eine der obersten Errungenschaften der Wissenschaft bezeichnet, während es doch in Wahrheit nur ein untergeordneter Spezialfall eines ganz anders beschaffenen Gesetzes ist. Weil die Bewegung der den Witterungszustand am meisten regelnden barischen Depressionen für Nordeuropa sich so gestaltet, nahm Dove, der ja natürlich auf eine wesentlich statistische Beweismethode angewiesen war, allgemein an, daß auf der Nordhalbkugel der Wind gewöhnlich im Sinne des Uhrzeigers, auf der Südhalbkugel gewöhnlich gegen den Drehsinn des Uhrzeigers umspringe, und in dieser Allgemeinheit gilt die Regel keineswegs.

Um so glücklicher war erwähntermaßen Dove auf dem klimatologischen Arbeitsfelde, welches er 1829 mit einer Abhandlung über die Schwankungen des atmosphärischen Wassergehaltes betrat. Vor ihm war namentlich Humboldt, den wir ja schon aus dem vierten Abschnitte in dieser Eigenschaft kennen, der Bahnbrecher gewesen; im gleichen Jahre 1829 trat L. v. Buch (1774—1853), als Meteorologe ebenso glücklich wie als Geologe, mit seinem Vorschlage hervor, zwischen den heißen und gemäßigten Erdgürtel innerhalb der Festländer eine Übergangsregion einzuschieben, welche er in ihren Merkmalen kennzeichnete. Wohl nicht allzu Viele werden wissen, daß der geschickt gewählte Ausdruck subtropische Zone das geistige Eigentum v. Buchs ist. Letzterer vervollkommnete auch die Methodik dadurch, daß er die Abhängigkeit des momentanen Luftdruckes von der augenblicklichen Windrichtung durch eine barometrische Windrose darstellte; dieses graphische Hilfsmittel hat dann auch für alle übrigen meteorologischen Faktoren seine Brauchbarkeit dargethan. Weniger Beifall hat in Deutschland, und zwar gewiß nicht ohne Grund, das anderwärts hervortretende Bestreben gefunden, die Temperaturverteilung, die ja nur im solaren Klima ausschließlich von der Breite abhängig, im physischen Klima dagegen durch eine Vielzahl primärer und sekundärer Einwirkungen bestimmt ist, durch empirische Formeln wiederzugeben. Brewster, G. G. Hällström (1775 bis 1844), H. Atkinson (1786—1831) und andere haben sich hierin versucht, und auch den Unregelmäßigkeiten der Luftdruck-

verteilung hoffte man solchergestalt beikommen zu können, aber der Erfolg blieb aus. Die Verhältnisse sind thatsächlich viel zu verwickelt, als daß ein einfacher mathematischer Ausdruck ihrer Vielgestaltigkeit zu genügen vermöchte. Mehr Vorteil haben der Klimatologie die pflanzengeographischen Untersuchungen eines G. Wahlenberg (1780—1851) und J. Schouw (1789—1852) gebracht; die „Beiträge zur vergleichenden Klimatologie" (Kopenhagen 1827) des dänischen Botanikers zeigen recht augenfällig, wie sich hier anorganische und organische Naturwissenschaft die Hand reichen. Nicht minder klar tritt dies hervor in der sogenannten Phaenologie, wie C. F. A. Morren in Lüttich (1807—1858) die Lehre von den periodischen Lebensbethätigungen der Pflanze genannt hat. Seit Linné und L. Cotte (1740—1815) gab es Florenkalender, aus denen man ersehen konnte, um welche mittlere Zeit, also auf Grund eines wie starken Wärmeempfanges die vegetative Entwicklung an einer ihrer großen Etappen oder Phasen angelangt war, und v. Buch war der Meinung, daß nur durch phänologische Erwägungen die Ziehung einer Grenze zwischen Nord- und Süddeutschland ermöglicht werde. Aber erst später sollte diesem klimatologisch-biologischen Grenzgebiete die ihm gebührende wissenschaftliche Würdigung zu teil werden.

Ungemein rege war in unserem Zeitraume die den meteorologischen Instrumenten zugewandte Erfinderthätigkeit. Es entstanden verbesserte Metallthermometer und Metallbarometer (Aneroide), und damit war die Möglichkeit gegeben, Berghöhen weit leichter und schneller, wenn auch nicht mit der gleichen Sicherheit, zu messen, als dies mittelst des schwieriger transportablen Quecksilberbarometers geschehen konnte. Die Laplacesche Formel hatte L. F. Ramond de Carbonnières (1753—1827) für den Gebrauch zugerichtet, indem er zugleich durch Beobachtungen in den Pyrenäen und im französischen Mittelgebirge die barometrische Konstante neu ermittelte. Zum barometrischen Höhenmessen war durch Wollaston, Ure und zumal durch J. W. Gintl (1804—1883) auch das thermometrische hinzugefügt worden, welches für die Kontrolle des erstgenannten Verfahrens unentbehrlich ist. Das Daniellsche Hygrometer und das Augustsche

Psychrometer verbürgten in ungleich höherem Maße, als dies die älteren Haar-, Saiten- und Fischbeinhygroskope konnten, eine scharfe Bestimmung der absoluten und der — weit wichtigeren — relativen atmosphärischen Feuchtigkeit. Das Wesen der Taubildung ergründete Wells in scharfsinnig erdachten Versuchen, die in ihrem Werte auch dadurch nicht erschüttert wurden, daß man einige Dezennien später zu teilweise anderen Ansichten gelangt ist. Dagegen blieb der Hagel zunächst noch ein Rätsel. Denn Voltas Identifizierung der Ladung der Hagelkörner mit dem elektrischen „Puppentanze" mußte den Einwürfen von A. Bellani (1776—1852), J. Prechtl (1778—1854) und Muncke gegenüber als haltlos aufgegeben werden, und v. Buchs Versuch, alle Phänomene allein auf die bloße Verdunstungskälte zurückzuführen, konnte wohl für Graupeln, nicht aber für die bizarren Hagelschloßen als zutreffend anerkannt werden.

Die Periodizität in der elektrischen Spannung der Atmosphäre wurde von Kämtz, Schübler, Pouillet u. a. untersucht, doch gelang es noch nicht, eine ganz befriedigende Erkenntnis der diese jährliche und tägliche Schwankung hervorbringenden Ursache zu erzielen. Auch der Grund für das Vorhandensein einer solchen Spannung verblieb noch dunkel, obwohl von J. Peltier (1785 bis 1845) und Palmieri (1807—1896), dem Erfinder eines sehr passenden Meßapparates, viel Fleiß an diese Aufgabe gewendet wurde. Man beruhigte sich vielfach bei Lamonts resignierter Ansicht, daß das Vorhandensein eines negativ-elektrischen Potentiales des frei im Weltraume schwebenden Erdkörpers als eine nicht weiter interpretierbare Thatsache hingenommen werden müsse.

Zum Schlusse muß, ehe wir von der Meteorologie Abschied nehmen, auch der glazialen Physik ein Wort gewidmet werden. Ein Niederschlag der oben charakterisierten Versuche, die Methode der kleinsten Quadrate in die Klimatologie hineinzutragen, war die von verschiedenen Autoren, insbesondere von dem in Finnland lebenden Schweden G. G. Hällström angestrebte Festlegung der Höhe der sogenannten Schneegrenze durch eine Formel; es mußte dies mißlingen, und auch die Zahlen v. Buchs, welche für verschiedene Breiten die Lage der Linie angeben sollen, jenseits

deren der fallende Schnee nicht mehr zum Schmelzen gebracht wird, tragen ein zu schematisches Gepräge. Die Gletscher waren erst seit hundert Jahren von der Wissenschaft berücksichtigt worden; für diejenigen der Schweiz hatten, wie wir schon erfuhren, Scheuchzer, Altmann, Gruner und Saussure eine Erforschungsbasis geschaffen, während sich derjenigen der östlichen Alpen der viel zu wenig gekannte J. Walcher (1718—1803) annahm. Im neuen Jahrhundert wollte sich anfänglich keine recht rege Teilnahme für einen Zweig der terrestrischen Physik entwickeln, der nicht bloß an die Feder- und Geistesarbeit, sondern auch an die körperliche Leistungsfähigkeit des Interessenten hohe Anforderungen stellte. In dieser Beziehung war schwer zu übertreffen der Solothurner Naturforscher F. J. Hugi (1796—1855), dessen ausgedehnte Gletscherwanderungen auch den Touristen anziehen, der bei denselben aber auch manchen tieferen Blick in die Struktur der alpinen Eisgebilde thun durfte, der anderen versagt gewesen war. Es wäre zu wünschen, daß Hugis Verdienste um die Gletscherlehre eine monographische Erörterung fänden. Zwei Umstände sind einer allseitigeren Anerkennung dieser Leistungen hinderlich gewesen; der eine ist durch Hugis allzu bereitwillige Hingabe an die Naturphilosophie gegeben, welche sich in der Schrift „Die Erde als Organismus" (Solothurn 1841) durch groteske Hypothesen offenbart, und der andere besteht darin, daß ein jüngerer und vorurteilsfreierer Landsmann durch seine mindestens ebenso umfassenden Untersuchungen den Vorläufer in den Schatten stellte. Louis Agassiz (1807—1873) hatte sich frühzeitig durch ein Werk über fossile Fische die wohlwollende Gönnerschaft Cuviers und Humboldts erworben; Humboldts Fürsprache verschaffte ihm eine eigens für ihn eingerichtete Professor am Lyzeum der damals zu Preußen gehörigen Stadt Neuchatel, und von hier aus setzte er, unterstützt von seinen Freunden J. Guyot (1807—1877), E. Desor (1811—1887) und W. P. Schimper (1808—1867), jene planmäßigen Gletscherbeobachtungen ins Werk, welche seit 1841 in Aufsätzen und selbständigen Büchern die Fachmänner in freudiges Staunen versetzten und stellenweise noch heute nicht als überholt bezeichnet werden können. L. Agassiz, der später nach

Nordamerika übersiedelte und dort durch die im Bunde mit Pourtalès durchgeführte systematische Erforschung des Meeresgrundes seinem Lorbeerkranze ein neues Blatt einfügte, hat erstmalig die molekularen Umformungsprozesse aus pulverigem Hochschnee in Firn und Gletschereis genau analysiert; er hat, nicht ohne Lebensgefahr, die Blaublätterstruktur im Inneren der Spalten entdeckt; er hat Methoden zur Messung der Bewegungsgeschwindigkeit der Gletscher ersonnen, die ihrem Grundzuge nach dem dauernden Besitzstande der Gletscherkunde einverleibt wurden.

Mit Agassiz tritt auch die Lehre von den Einwirkungen der Gletscher auf ihre Umgebung in ein neues Stadium. Wir werden jedoch die Geologie und die von ihr nicht zu trennende Morphologie der Erdoberfläche in einem besonderen Abschnitte behandeln, und dort hat mithin auch die Glazialgeologie ihren natürlichen Platz. Insofern nun weiter die geologischen Theorieen gleichmäßig auf Mineralogie, Physik und Chemie zurückzugreifen haben, wollen wir uns zu den ersteren erst dann wenden, wenn die geschichtliche Entwicklung der erwähnten drei Disziplinen bis zur Mitte des Jahrhunderts ihre Erledigung gefunden haben wird.

Siebentes Kapitel.

Mineralogie und Krystallographie bis Bravais.

Die Lehre von den Mineralien, eine der Grundwissenschaften für richtige Begreifung der anorganischen Natur, war früher trockene Nomenklatur und Systematik gewesen. Wir sahen, wie Haüy ganz neue Gedanken in dieselbe hineintrug, indem er aus der Verhüllung den die Mineralspezies bestimmenden Krystallkörper herausschälte und durch Aufbau aus gleichartigen Atomen zu erklären suchte. Zumal die Franzosen blieben ihrem Meister treu, und J. A. Monteiro (geb. 1758, gest. ?), Cordier, F. J. Soret (1795—1865) haben in seinem Geiste fortgearbeitet. Auch darf der moderne Historiker ruhig anerkennen, daß Haüys Vorgehen von großer hodegetischer Bedeutung war, und daß das Auftreten seines deutschen Nachfolgers, mochte auch die Auffassung beider Männer nicht selten eine recht verschiedenartige sein, ohne jene Vorbereitung nicht wohl denkbar erscheint.

Der erste ganz dem neuen Jahrhundert angehörende Krystallograph war C. S. Weiß (1780—1856), seit 1810 Professor der Mineralogie an der neu geschaffenen Berliner Hochschule und als solcher vortrefflich geeignet, einer von den Deutschen noch wenig gekannten Spezialwissenschaft Eingang zu verschaffen. Die in den Jahren 1804 bis 1810 vollzogene Bearbeitung von Haüys „Traité de minéralogie" bildete die strenge Schule des deutschen Gelehrten, dessen naturwissenschaftlich-philosophisches Glaubensbekenntnis dem

des französischen grundsätzlich zuwiderlief. Hauy war Atomistiker, Weiß war Dynamiker, d. h. er nahm eine absolut lückenlose Erfüllung des unendlichen Raumes durch die Materie an. Dieser Gegensatz hat nicht verfehlt, eine gewisse Störung in die normale Ausbildung eines Wissenszweiges zu bringen, der ja in letzter Instanz doch ein rein geometrischer ist und von den Vorstellungen, die man sich etwa über den Stoff gemacht hat, gar nicht weiter berührt werden sollte. Das hatte J. J. Bernhardi (1774—1850) klar erkannt, als er 1807 mit seinen Aufschlüssen über die Krystallformen des Arsenikkieses und des kohlensauren Natrons vor die Öffentlichkeit trat, denn nur so sind seine einleitenden Worte zu verstehen: „Man macht sich eine unrichtige Vorstellung von der Krystallographie, wenn man glaubt, ihr Wesen bestehe in der Bestimmung der primitiven und sekundären Formen. Denkt man sich auf jede Krystallisationsfläche eine senkrechte Linie gezogen, läßt alle diese Linien in einem gemeinsamen Punkte sich schneiden, bestimmt das Verhältnis dieser Linien trigonometrisch und giebt auf diese Weise die Richtungen an, nach welchen sich die Teile mehr oder weniger angezogen haben, so erhält man eine krystallographische Methode, die der Theorie weit angemessener, aber in der Ausführung mit mehr Schwierigkeiten verknüpft sein würde.“ Weiß selbst ging nicht unmittelbar in diesem Sinne zuwege, aber seine „Übersichtliche Darstellung der verschiedenen natürlichen Abteilungen der Krystallsysteme“, welche er 1815 der Berliner Akademie vorlegte, ist doch ganz von geometrischem Geiste durchweht. Sehr viele der Bezeichnungen, welche sich uns jetzt ganz von selbst zu verstehen scheinen, kommen hier zum erstenmal vor. Dasjenige Mineral, an welchem, als an einem schwierigen Modelle, Weiß seine konstruktiven Anschauungen am liebsten erläuterte, war der als einer der Hauptbestandteile plutonischer und vulkanischer Gesteinsarten sehr bekannte Feldspat, dessen sogenannte Zwillingsbildungen Goethe dereinst an den schönen Karlsbader Exemplaren liebevoll gewürdigt hatte. Die Krystallrechnung brachte Weiß dadurch in ein neues Gleis, daß er sein Augenmerk auf die Achsen, auf die ganz im Inneren des Körpers verlaufenden Linien richtete. Auf sie begründete er eine einheit=

liche Bezeichnungsweise der Krystallflächen. Endlich vereinfachte und vertiefte er die Krystallometrie, indem er feststellte, wie die Flächen eines Systemes sich in Zonenverbänden zusammenschließen. Allerdings wurde der volle Wert dieser Auffassung erst einleuchtend, als Weiß' bedeutendster Schüler eine nach modernem Gefühle nahe liegende, wie andererseits folgenreiche und wichtige Vereinfachung durchführte. Das Columbus-Ei hat in allen Wissenschaften seine Nachfolger gehabt.

F. E. Neumann (1798—1894), als Physiker schon genannt, war als freiwilliger Jäger bei Ligny schwer verwundet worden und war trotzdem zuletzt einer der vier ältesten Veteranen aus den Befreiungskriegen. Im Jahre 1827 ward er Professor der Physik und Mineralogie an der Universität Königsberg i. Pr., und ihr ist er bis in sein höchstes Alter treu geblieben. Als einer der hervorragendsten Begründer der mathematischen Physik in Deutschland ist er uns bereits früher begegnet; jetzt geht uns der Mann, der in meisterhafter Beherrschung der analytischen Methoden sich auszeichnen sollte, gerade wegen der Bethätigung des entgegengesetzten mathematischen Talentes besonders an, wegen seiner ungewöhnlichen Befähigung, verwickelte Raumgestaltungen zu überblicken. Fürs erste gereichte ihm solche anscheinend nicht zum Vorteile, denn als er die elegante Behandlung eines schwierigen stereometrischen Problemes als Doktorarbeit bei der Berliner philosophischen Fakultät einreichte, wollte ihn der begutachtende Analytiker Dirksen, ein eingefleischter Formelmensch, zuerst abweisen. Die reine Geometrie hatte sich damals die volle Anerkennung auf den Hochschulen noch nicht ertrotzt; es geschah dies erst etwas später, hauptsächlich unter den Auspizien des genial-derben Schweizers Jakob Steiner (1796—1863). Vorläufig mußte der Geometer beim Mineralogen Unterstand suchen, und so machte es auch Neumann, indem er 1828 durch seine „Beiträge zur Krystallonomie" der verwickelten Betrachtung der einzelnen Formen das Studium der sphärischen Abbildung substituierte. Um den Achsenschnittpunkt als Mittelpunkt beschrieb er mit beliebigem Halbmesser eine Kugelfläche und projizierte auf diese zentral alle Ecken und Kanten des Krystallkörpers; um die Flächen zu übertragen, fällte er auf sie

aus dem Zentrum Lote und ordnete jeder Seitenfläche den Punkt zu, in welchem das verlängerte Lot die Sphäre traf. Alle diejenigen Flächen, deren Bildpunkte einem und demselben größten Kreise der Kugel angehörten, schlossen sich zu einem Zonenverbande zusammen; was bei Weiß nur durch eine umständliche Definition gegeben war, findet sich bei Neumann unmittelbar veranschaulicht. Auch der Stettiner Mathematiker J. G. Graßmann (1779—1852), Vater eines auf gleichem Gebiete noch weit bekannter gewordenen Sohnes, ließ ein Jahr später, ohne von Neumann zu wissen, eine auf das gleiche Ziel gerichtete Studie erscheinen, in der nur die räumliche Durchsichtigkeit nicht bis zu einem gleich hohen Maße gediehen war.

Damit graphische und rechnerische Darstellung ihre volle Kraft entfalten können, mußten freilich die quantitativen Verhältnisse klar übersehbar gemacht worden sein, d. h. es mußte für die Möglichkeit genauer Messung der Krystallwinkel gesorgt werden. Ursprünglich blieb dazu nur die mit dem Zirkel erfolgende Messung gewisser Linien übrig, aus denen sich dann die Winkelgrößen trigonometrisch berechnen ließen; Romé de l'Isle und Hauy aber waren bereits in der Lage, das sogenannte Anlegegoniometer von Carangeau zu verwenden, welches ihnen schärfere Resultate gewährleistete. Immerhin bietet dasselbe, so bequem es zu handhaben ist, nicht diejenige Präzision, welche mit dem 1809 von Wollaston erfundenen Reflexionsgoniometer erreicht werden kann; freilich wird dabei vorausgesetzt, daß die einzelnen Krystallflächen vollkommen glatt und spiegelnd sind. Besonders verbessert hat die Winkelmessung der uns schon bekannte deutsch-russische Physiker Kupffer, der im Jahre 1826 eine Berliner Preisaufgabe, von seinem Lehrer Weiß gestellt, erfolgreich bearbeitete; auch Muncke, Brewster, H. v. Riese (1790—1868) lieferten schätzbare Beiträge, der letztgenannte namentlich auch mit Berücksichtigung des Falles, daß die Flächen matt geworden sind und der Anwendung des Spiegelgoniometers widerstreben. Besonders W. Phillips (1773—1828) und G. Rose, der spätere Begleiter Humboldts auf der asiatischen Reise, maßen in Fülle die Winkel seltener vorkommender Krystallgestalten; unter der Wucht der

empirisch erschlossenen Thatsachen mußte man sich auch mit der zuerst von Kupffer aufgestellten Behauptung befreunden, daß nicht bloß rechte, sondern auch schiefe Achsenwinkel möglich seien.

Die Mineralogie war durch die Berliner Schule zu einem geometrischen Spezialfache gemacht worden, und ihre naturhistorische Seite wurde hier weniger gepflegt. Eine mehr zusammenfassende Thätigkeit war es, die von Fr. Mohs (1773—1839) ausgeübt wurde, einem geborenen Hannoveraner, der jedoch, von sechsjähriger Wirksamkeit an der Freiberger Akademie abgesehen, hauptsächlich dem österreichischen Kaiserstaate diente und sowohl in Graz wie in Wien, wo er zuletzt das Bergwesen leitete, reiche Anregung hinterließ. Als jungem Manne hatte ihm ein reicher Wiener Liebhaber, J. F. von der Null, die Ordnung und Beschreibung seines umfänglichen Mineralienkabinettes anvertraut, und bei diesem Geschäfte reifte der Gedanke bei ihm heran, eine bloß auf äußere Kennzeichen sich stützende Klassifikation des Mineralreiches zu schaffen, von welcher er denn auch 1804 eine erste litterarische Probe ablegte. In vielen Dingen nahm er sich die Erfahrungen zum Muster, welche die Geschichte der Botanik im vergangenen Jahrhundert an die Hand gegeben hatte. Linné schuf das künstliche, B. Jussieu das sogenannte natürliche Pflanzensystem, und beide Systeme hatten ihre Berechtigung; das zweite wegen seiner engen Beziehung zu den wirklichen Verhältnissen, das erste, weil man an ihm sich leicht auskennen, an gewissen unveränderlichen Kennzeichen ein gegebenes pflanzliches Individuum leicht bestimmen konnte. Beide Modalitäten erachtete Mohs auch als notwendig für das Reich der anorganischen Naturkörper. Im Jahre 1820 trat er mit einer die künstliche Einteilung in knapp programmatischer Charakteristik schildernden Schrift („Die Charaktere der Klassen, Ordnungen, Geschlechter und Arten") an die Öffentlichkeit, und vielfach, vorab in England, nahm man dieselbe begeistert auf, während die Anhänger des Altmeisters Weiß in kühler Reserve verharrten. Noch 1873 ersieht sich F. A. Quenstedt (1809 bis 1889) in seinem historischen Essay über die Krystallographie jede Gelegenheit, um Mohs als unselbständigen Kopisten Weißscher

Ideen — was er doch sicherlich nicht war — in recht schlechtem Lichte erscheinen zu lassen.

In Wirklichkeit war auch Mohs von der Notwendigkeit steter und ausgedehnter Berücksichtigung der Krystallform durchdrungen, obwohl ihm, wie zugegeben werden kann, der vollendete Formensinn eines Weiß und Neumann fehlte. Daneben aber traten eben auch noch andere Merkmale in ihr Recht, deren Wichtigkeit auch schon in früherer Zeit bemerkt war, die noch niemals aber in ihrer prinzipiellen Bedeutung erfaßt worden waren. So kann man nach B. Nies in den von den Mineralien handelnden Kapiteln der „Naturgeschichte" des Plinius die einzelnen von Mohs verwerteten Kriterien zwanglos herausfinden, und auch sonst fehlte es nicht an einschlägigen Andeutungen, aber erst jetzt wurden die Teile durch ein geistiges Band miteinander verknüpft. Vor allem that Mohs einen glücklichen Griff durch die Aufstellung seiner Härteskale, auf welche bei der Mineralbestimmung auch in unserer Zeit noch, als auf eines der untrüglichsten Erkennungsmittel, Bezug genommen wird. Talk, Gips, Kalkspat, Flußspat, Apatit, Feldspat, Quarz, Topas, Korund und Diamant markieren die 10 Stufen dieser Skale, und als härter gilt derjenige Körper a, welcher den Körper b ritzt, während umgekehrt a, wenn man ihn mit b zu ritzen versucht, keinen Eindruck in sich aufnimmt. Erst in neuester Zeit sind die Techniker über dieses Verfahren, die Widerstandsfähigkeit eines Körpers zahlenmäßig auszudrücken, hinausgegangen, während dasselbe den Mineralogen nach wie vor die besten Dienste leistet. Auch das spezifische Gewicht ist bei Mohs ein unentbehrliches Unterscheidungszeichen.

Die spezielle Krystallographie hat auch von denen, welche in Freiberg und Wien mit der neuen Auffassung der Mineralogie Bekanntschaft geschlossen hatten, mannigfaltige Förderung erfahren. Zu nennen sind insbesondere J. F. A. Breithaupt (1791 bis 1873), der als langjähriger Professor des Wernerschen Hauptfaches in Freiberg eine ungemein große Anzahl von Monographien über Mineralien verfaßte; sodann J. F. L. Hausmann (1782 bis 1859), der die Lötrohrprüfung der Mineralkörper in Regeln überlieferte und sich später — seit 1811 war er Professor der

Mineralogie und Technologie in Göttingen geworden — von seinem neuen Wohnsitze aus um die geognostische Erforschung Norddeutschlands verdient machte; endlich K. F. Naumann (1797 bis 1873), dem die spezialistische Durcharbeitung des hexagonalen Systemes gleich einen geachteten Platz unter den Fachmännern verschaffte. Seine „Elemente der Mineralogie" (Leipzig 1846) haben vielleicht für die Ausbreitung tüchtiger Kenntnisse, wenigstens in Deutschland, am kräftigsten gewirkt, weil ihnen das Glück zu teil wurde, daß die späteren, sehr rasch einander folgenden Auflagen ein Gelehrter besorgte, der in der Gesteinskunde für die zweite Hälfte des Jahrhunderts ungefähr dasselbe bedeutete, wie Naumann selbst für die erste Hälfte.

Eine Sonderstellung nimmt ein J. F. C. Hessel aus Nürnberg (1796—1872), seit 1821 Professor der Mineralogie und der montanistischen Fächer an der Universität Marburg. Die Zeitgenossen haben die Eigenart des Mannes und seiner Arbeiten nicht voll erkannt, und es blieb erst in unseren Tagen L. Sohncke vorbehalten, darzuthun, daß und wie gewisse ganz moderne Anschauungen in dem Artikel „Krystall" zu finden sind, den Hessel für die zweite Auflage des Gehlerschen Physikalischen Lexikons geliefert hat. Die Darstellungsweise ist keine gefällige, und da man in einem Sammelwerke wohl auch weniger originelle Gedanken suchte, so blieb die Abhandlung, obwohl sie nachher auch separat (Leipzig 1830) ausgegeben wurde, auffallend unbeachtet. Nach Sohncke ging Hessel von der allein richtigen Fragestellung aus, „wieviel und in welcher Anordnung gelegene, gleichwertige Teile ein Raumding darbieten kann"; d. h. er suchte alle überhaupt möglichen Arten der räumlichen Symmetrie auf. So fand er 27 Klassen von Krystallgestalten mit Hauptachsen und fünf ohne solche, in Summe mithin deren 32. Bravais' elegantere Untersuchung, von der gleich zu reden sein wird, gelangte nicht sofort zu einem so abgeschlossenen Resultate, wie es dasjenige Hessels war, über den auch die späteren Bearbeitungen des Problemes sachlich nicht hinausgehen konnten.

Wenn wir uns den Standpunkt ansehen, auf welchem in den zwanziger und dreißiger Jahren die Mehrzahl der Mineralogen

stand, so konstatieren wir, daß man durchweg die geometrischen und die physikalischen Eigenschaften der Körper als diejenigen betrachtete, welche bei der Einordnung letzterer in Systeme die maßgebende Rolle zu spielen hätten. Mochte nun, wie bei Hauy und Weiß, das krystallographische oder, wie in der durch Mohs inaugurierten Richtung das physikalische Moment in den Vordergrund treten — darüber war man einig, daß die chemische Zusammensetzung für die eigentliche Mineralogie eine mehr sekundäre Sache sei. So trat man in bewußten Gegensatz zu derjenigen Theorie, welche der berühmteste Chemiker des Zeitalters, der Schwede Jöns v. Berzelius (1779—1848), aufgestellt hatte. Schon der Titel seines im Jahre 1814 herausgekommenen Werkes, von dessen zweiter Auflage K. F. Rammelsberg (1813—1899) eine deutsche Bearbeitung lieferte, giebt über die Tendenz Auskunft; derselbe würde in unserer Sprache folgendermaßen lauten: „Versuch, durch die Anwendung der elektrochemischen Theorie und der Lehre von den bestimmten chemischen Proportionen zur Aufstellung eines rein wissenschaftlichen mineralogischen Systemes zu gelangen“. Die Basis, von welcher Berzelius bei seinen geistvollen Konstruktionen ausging, war die Einteilung aller chemischen Elemente in elektropositive und elektronegative; wie man dazu kam, wird im zweitnächsten Abschnitte Gegenstand der Erörterung sein müssen. Innerhalb dieser beiden Klassen wurde einem jeden Elemente, nach der Intensität seines elektrischen Verhaltens, ein bestimmter Rang zugewiesen, und die Mineralien wieder erhielten ihre Stelle nach dem in ihnen am meisten hervortretenden elektropositiven Elemente eingeräumt. Der große Chemiker hielt sich überzeugt, daß nunmehr strengste Eindeutigkeit gewahrt und die Bestimmung zur möglichsten Einfachheit gebracht worden sei, und er durfte dies auch nach dem damaligen Stande des Wissens annehmen. Aber nicht lange mehr. Denn bald entdeckte G. Rose den Dimorphismus, E. Mitscherlich (1794—1863) den Isomorphismus, und damit war einem chemisch-mineralogischen Lehrgebäude einer seiner Grundsteine entzogen. Denn Krystallgestalt und molekulare Struktur galten bis dahin als notwendig zusammengehörig; zwei chemisch gleich gebildete Körper mußten, so dachte man, auch in

völlig übereinstimmender Weise krystallisieren. Und nun erlebte man eine arge Enttäuschung. Der im rhombischen Systeme unregelmäßig krystallisierende Aragonit und der rhomboedrische Kalkspat erweisen sich, wenn man sie in ihre Urbestandteile zerlegt, als der nämlichen chemischen Formel unterworfen, und dabei ist ihre Erscheinung eine ganz verschiedene. Berzelius erkannte die Widerlegung, welche die Natur selbst seinem Systeme hatte angedeihen lassen, unumwunden an, und auch die Umformungen, zu denen er sich herbeiließ, um zum wenigsten den Grundgedanken zu retten, konnten nicht genügen, um die elektrochemische Einteilung der Mineralien als die berechtigte erscheinen zu lassen. Ebensowenig gelang dies etwas später (1824) F. S. Beudant (1787—1850), der die von Ampère ausgehende Vorstellung, daß alle elektrisierten Körper von Elementarströmen umkreist werden, seiner Klassifikation zu Grunde legte. Zumal im Bereiche der Anwendung schien das naturhistorische System eine erhöhte Brauchbarkeit zu besitzen. Doch räumten die Chemiker nicht etwa das Feld, sondern unter denjenigen, welche der chemischen Klassifikation den Vorzug gaben, treffen wir auf klangvolle Namen. So auf N. G. Nordenskiöld (1792—1866), den wackeren Vater eines noch weit berühmter gewordenen Sohnes; auf J. R. Blum (1802—1883), der lange mit v. Leonhard und Bronn das Trifolium bildete, welches Heidelberg zur ersten Wissensstätte unter den deutschen Hochschulen für die geologischen Disziplinen erhob; auf F. v. Kobell (1803 bis 1882), der uns in seiner „Geschichte der Mineralogie" (München 1864) die geistige Bewegung jener Zeit treu geschildert hat. Von einem endgiltigen Siege der einen oder anderen Richtung läßt sich nicht sprechen.

Jedenfalls behauptete die Krystallkunde, die in K. M. Marx (1794—1864) auch bereits einen Spezialhistoriker (1825) gefunden hatte, ihren auszeichnenden Platz innerhalb der Mineralogie, wie sich diese auch sonst zu den Einzelfragen der Systematik und Terminologie stellen mochte. Summarisch zusammengefaßt, konnte folgendes als festgestellt gelten. Teils aus der Dampfform, teils aus dem geschmolzenen Zustande heraus gehen die vorher aufgelösten Stoffe in den festen Aggregatzustand über, und zwar werden sie zum

Teile amorph (gestaltlos), zum Teile krystallinisch. Massen der letzteren Art werden aber, wenn ausreichende Zeit zur Neuordnung gegeben war, echte Krystalle, und am Schlusse der hier in Rede stehenden Periode wußte man, daß sieben Krystallsysteme möglich sind: das reguläre, hexagonale, rhomboëdrische, quadratische, rhombische, klinorhombische und klinorhomboidische. Mitunter bescheidet man sich auch bei einer Sechszahl, indem man dann zwischen dem hexagonalen und rhomboëdrischen Systeme keinen Unterschied macht. Als Kriterien gelten die räumlichen Beziehungen des Koordinatengerüstes, auf welches man jeden einzelnen Krystall zurückführt. Wie das zu geschehen habe, war allerdings auch noch nicht völlig festgestellt; zumal der Engländer W. H. Miller (1801—1880), der die mathematische Krystallographie mit neuen Gesichtspunkten und Instrumenten bereichert hat, geht da seinen eigenen Weg. Eine Ausnahmestellung nahmen ferner die sogenannten Pseudomorphosen ein, auf welche bereits Romé de l'Isle aufmerksam geworden war. Werner studierte diese Bildungen, denen er den auch heute noch gelegentlich gebrauchten Namen Afterkrystalle beigelegt hatte, eingehender und hielt sie für Erhärtungen einer ursprünglich weichen Masse, welche in eine Krystall-Hohlform eingedrungen sei und diese ausgefüllt habe, ohne daß eben diese Masse, sich selbst überlassen, es zu einer eigentlichen Krystallbildung bringen könnte. Ebenso könne die betreffende Substanz sich wohl auch inkrustierend um einen Krystall herumlegen. Breithaupt ergänzte die von seinem Lehrer gegebene Einteilung im Jahre 1815 noch durch eine dritte Möglichkeit; ein metamorphischer Krystall, so drückte er sich aus, gehe wohl aus einem normalen dadurch hervor, daß Volumen und Gestalt bestehen blieben, wogegen die Materie einer chemischen Veränderung ausgesetzt gewesen sei. Von diesem Hergange eine Aufklärung zu geben, wagte er nicht, und es suchte dies daher im nächstfolgenden Jahre J. L. C. Gravenhorst (1777 bis 1857) nachzuholen. Man hat seine Darlegungen, die freilich auch eines bestimmten Kernes entbehren, wenig beachtet, aber auch durch Hausmann und den Naturphilosophen Steffens wurde die Frage kaum vorwärts gebracht. Letzteres gelang einigermaßen dem Öster-

reicher W. v. Haidinger (1795—1871), einem Schüler von Mohs aus der Grazer Periode, der sich später geraume Zeit in Schottland aufhielt und es sich angelegen sein ließ, die Briten mit den Anschauungen seines Lehrers bekannt zu machen; nachdem er sein vorzügliches „Handbuch der bestimmenden Mineralogie“ (Wien 1845) verfaßt, legte er sich mit Vorliebe auf geognostische Studien und übernahm 1849 die Leitung der neu geschaffenen, nun schon über ein halbes Jahrhundert segensreich für Wissenschaft und Landeskultur wirkenden „Geologischen Reichsanstalt“ in Wien. Was Gravenhorst nur angedeutet, stellte v. Haidinger durch die Scheidekunst als thatsächlich fest; Lasurstein geht in Malachit dadurch über, daß ein Atom Kohlensäure durch ein Atom Wasser ersetzt worden ist. Die in Gängen und Erzlagerstätten sich stetig und geräuschlos vollziehenden Um- und Zersetzungsprozesse müßten, im einzelnen erfolgt, über die Bildung vieler Pseudomorphosen Aufschluß geben können. Gegen v. Haidinger erhoben andere Forscher Einwürfe, so G. Bischof und der damals jugendliche Amerikaner J. D. Dana (1813—1895), welch letzterer der Infiltration einen beträchtlichen Einfluß zuzuerkennen bereit war. Daß chemische Umwandlung auf nassem Wege eine Hauptrolle spielt, darf durch Bischofs Versuche wohl als entschieden angesehen werden. Im übrigen jedoch mußte man es einstweilen bei der resignierten Erklärung Blums, eines in der Erforschung der Afterkrystalle sehr erfahrenen Mineralogen, bewenden lassen, die dahin ging, daß das damalige chemische Wissen noch keine abschließende Erklärung eines jedenfalls überaus verwickelten Entwicklungsprozesses zu liefern imstande sei.

Innige Beziehungen zwischen Molekular- und Krystalltheorie waren damit aber doch anerkannt, Beziehungen, die nur eben keine so grob-atomistische Einkleidung vertrugen, wie sie Haüy im ersten Entdeckereifer für eine leichte Sache gehalten hatte. Erst das fünfte Dezennium des Jahrhunderts erlebte ernsthaftere Versuche, den Dingen wirklich auf den Grund zu gehen. G. Delafosse (1796 bis 1878), Adjunkt am naturgeschichtlichen Museum in Paris veröffentlichte im Jahre 1843 seine Untersuchungen „über die Struktur der Krystalle und über die davon abhängigen physika-

lischen Erscheinungen", welche wirklich eine neue Bahn eröffneten. Immerhin bedurfte es noch einer exakteren mathematischen Durcharbeitung der von ihm erschlossenen Gedankenreihen, und dafür war nicht leicht eine geeignetere Kraft als diejenige zu finden, die nunmehr an das neue Problem herantrat.

A. Bravais (1811—1863) gehört zu den begnadeten Geistern, denen es gegeben ist, mit gleicher Sicherheit und Leichtigkeit die Naturwissenschaft durch die Beobachtung, durch das Experiment und durch die Handhabung des Kalküls zu fördern. Ursprünglich Marineoffizier, nachmals Professor und Akademiker in Paris, hat er sein seltenes Talent mit Vorliebe in den Dienst der Geophysik gestellt, deren Interessen auch seine Reisen gewidmet waren; von 1822 bis 1833 hielt er sich in Algerien, später längere Zeit in der Schweiz und in den italienischen Alpen auf; wichtiger war jedoch die 1838 bis 1839 unternommene „Nordexpedition". An ihr nahmen außer Bravais noch V. C. Lottin (1795 bis 1853) und C. F. Martins (1806—1889) teil, und es war mit ihr ein Winteraufenthalt in dem norwegischen Küstendorfe Bossekop (in Finnmarken) verbunden, welcher namentlich zu interessanten Beobachtungen über Ebbe und Flut, über alte Strandlinien und über das Polarlicht verhalf. Bravais arbeitete unter anderem über die Bewegung des Sonnensystemes, über die Beeinflussung eines Kegelpendels durch die Erdrotation, über den merkwürdigen farblosen Regenbogen, als dessen Ursache er das Herabsinken des Durchmessers der Wasserkügelchen unter eine gewisse Minimalgrenze erkannte; er bestimmte neu die Geschwindigkeit des Schalles und darf wohl als der berufenste Vertreter der meteorologischen Optik seiner Epoche gelten; er vervollkommnete endlich die Methoden der thermometrischen Höhenmessung und wies die Abnahme der magnetischen Intensität mit der Höhe nach. Hierzu bedurfte es der Bergbesteigungen, und auch diese hatte er auf sein Programm geschrieben, indem er seinen Freund Martins auf das Faulhorn und, im Jahre 1845, sogar auf den Gipfel des Montblanc begleitete. Dies war der Mann, der den inneren Bau der Krystalle mit der Fackel der Forschung zu beleuchten unternahm, und er war hierzu durch seine vielfachen rein geometrischen Untersuchungen, die unter

anderem auch dem Gegensatze von Kongruenz und Symmetrie in der Raumlehre galten, ausgezeichnet vorbereitet.

Man kann sich offenbar im Raume drei Scharen gleichabständiger Ebenen — a, b und c — vorstellen, welche die Eigenschaft haben, daß jede Ebene von System a jede Ebene von System b und c unter gleichem Winkel schneidet, ebenso jede Ebene von b jede Ebene von a und c, und schließlich jede Ebene von c jede Ebene von a und b. Dadurch wird der Raum geteilt in unendlich viele Raumgitter, deren jedes als Punktnetz mit parallelepipedischer Masche erscheint. Genau so, wie diese Raumgitter, denkt sich Bravais die räumlichen Elemente gelagert, welche als kongruent und gleich gerichtet vorausgesetzt werden. Je nach den Symmetrieverhältnissen, welche für die einzelnen möglichen Fälle exakt bestimmt wurden, konnte der französische Mathematiker die Raumgitter in sieben Klassen teilen, und jede dieser Klassen ließ sich einem der uns bekannten sieben Krystallsysteme zuordnen. Diese Zusammengehörigkeit konnte unmöglich ein Spiel blinden Zufalles sein, sondern es erhellte aus ihr, daß die Zusammensetzung des Krystallkörpers aus gleichartigen Bausteinen der bezeichneten Art eine wirkliche Nachbildung der natürlichen Architektonik sein mußte. Allerdings waren noch nicht sämtliche Schwierigkeiten überwunden; dahin gehörte beispielsweise die Hemiëdrie oder Halbflächigkeit, die etwa einem Tetraëder innewohnt, wenn man es mit einem Oktaëder vergleicht. Auch hier bewahrheitete sich die alte Regel, daß kein Baum auf den ersten Hieb fällt, aber die Folgezeit hat eben doch mit den Prinzipien weiter gearbeitet, welche von Bravais in dem Zeitraum 1848 bis 1850 aufgestellt worden waren, und es wird gezeigt werden, daß in denselben der Keim zu gedeihlicher, späterer Ernte enthalten gewesen ist.

Achtes Kapitel.

Die Physik im Zeitalter vor Entdeckung des Energieprinzipes.

Wesen und Methodik hatten sich für die Naturlehre in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts nicht viel gegen früher geändert. Vergleicht man anerkannt treffliche Lehrbücher, wie sie uns etwa von Biot (1818), Pouillet (1827), Eisenlohr (1846), A. v. Kunzek (1795—1865) (1850) geliefert sind, mit dem um die Jahrhundertwende dominierenden Kompendium von Erxleben-Lichtenberg, so begegnen wir in den ersteren zwar einem ungemein viel größeren, stetig anwachsenden Thatsachenmateriale, kaum aber, von einem Teile der Optik abgesehen, einer innerlich verschiedenen Darstellungsweise. Und das ist nur natürlich. Noch fehlte ja die Erkenntnis, daß die einzelnen Naturkräfte, deren Äußerungen man qualitativ und quantitativ festen Normen unterzuordnen beflissen war, durch eine allen gemeinsame Gesetzmäßigkeit zusammengehalten sind; noch wurde nicht, oder doch sozusagen nur verstohlen, an die Möglichkeit gedacht, daß Schwere, Wärme, Elektrizität dem gleichen obersten Gesetze unterthänig sein könnten. Mechanik der festen, flüssigen und luftförmigen Körper, Akustik, Optik, Kalorik, Lehre vom Magnetismus und von der Elektrizität — so gruppierte die öffentliche Meinung die physikalischen Disziplinen, und jede von ihnen wohnte in ihrem eigenen Hause, zu dem von keiner der benachbarten Wohnungen eine Thüre führte. Erst später ward es üblich, die Lehre vom

Lichte, von der Wärme und von den sogenannten Imponderabilien unter dem Gesamttitel Wellenlehre zu vereinigen, aber auch dann noch begnügte man sich meistenteils, einige allgemeine, aus der Betrachtung der Flüssigkeitswellen abstrahierte Lehrsätze an die Spitze zu stellen und von denselben für die einzelnen Disziplinen eine Nutzanwendung zu machen.

Die Mechanik der starren Körper wurde als ein Teil der angewandten Mathematik betrachtet, und Mathematiker waren es auch, welche ihr neue Gedanken vorzugsweise zuführten. Der Standpunkt, den die Lehre vom Gleichgewichte, die Statik, nach Ablauf eines Vierteljahrhunderts erreicht hatte, wird sehr gut gekennzeichnet durch die von J. N. P. Hachette (1769—1834) besorgte sechste Ausgabe (1826) des zu seiner Zeit mustergiltigen „Traité élémentaire de statique“ von G. Monge. Man würde kaum einer Übertreibung geziehen werden, wollte man behaupten, daß dieses klare und abgerundete Lehrsystem sachlich identisch mit jenem wäre, welches in der späteren römischen Kaiserzeit der geniale Pappus von Alexandria in seiner „Mathematica Collectio“ zusammengestellt hat. Die Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte erfolgt nach bekannten Vorschriften; daran reihen sich die statischen Momente und die Lehre vom Schwerpunkte; endlich werden die „einfachen Maschinen“ vorgeführt und auf ihre Gleichgewichtsbedingungen geprüft. Eine immer häufiger anzutreffende Zuthat bestand darin, daß man den Satz vom Kräfteparallelogramm, den schon Aristoteles am Spezialfalle erkannt und den manche ältere Generation, unter Newtons Vortritt, ehrlicherweise als unbeweisbares Axiom hingenommen hatte, jetzt mit umständlichen analytischen Beweisen im Stile Cauchys und Poissons versah, die nur dadurch, daß man das zu Beweisende bereits ganz gut kannte, überhaupt ermöglicht worden waren.

Auf den nicht bloß formal, sondern auch im innersten Wesen gewaltigen Fortschritt, den 1834 L. Poinsot durch seine Einführung der Kräftepaare oder Koppeln erzielt hat, war bereits unser dritter Abschnitt hinzuweisen verpflichtet. Wenn eine Anzahl von Kräften auf jenes System materieller Punkte wirkt, das man einen festen Körper nennt, so kann eine Fortbewegung oder eine Drehung

oder endlich eine aus beiden Formen gemischte Bewegung die Folge sein. Bislang hatte man dies natürlich gerade so gut gewußt, aber man war nicht vermögend gewesen, die adäquate mathematische Form zu finden. Noch in Poissons mit Recht hervorragender „Mechanik" (Paris 1811 und 1836), deren zweite Auflage der Göttinger Mathematiker M. Stern (1807—1894) seinem Volke zugänglich gemacht hat, werden alle Kräfte auf zwei, im allgemeinen windschief zu einander liegende zurückgeführt, und deren Wirkungsweise ist schwer zu übersehen. Poinsot dagegen erhält zum Schlusse eine Kraft und ein Paar; erstere besorgt die Fortbewegung, letztere die Drehung, so daß, wenn gar keine Bewegung stattfinden soll, sowohl die resultierende Kraft, wie auch das Moment des resultierenden Paares gleich Null sein muß. Indem man die sogenannte Achse des Paares, das graphische Bild des Momentes, als den maßgebenden Repräsentanten betrachtet, kann man mit Paaren ganz die gleichen Zusammensetzungen und Zerlegungen vornehmen, wie sie sonst mit Kräften allein üblich waren, und es ist insbesondere, unter einem mehr philosophischen Gesichtspunkte, die absolute Gleichberechtigung von Translation und Rotation zum Ausdrucke gebracht. Welch große Vorteile die Ingenieurwissenschaften aus den neuen Poinsotschen Theorien gezogen haben, dies darzulegen ist hier nicht der Ort.

Die analytische Mechanik stand schon frühzeitig vor der Notwendigkeit, einen durchgreifenden Unterschied zu machen zwischen denjenigen Aufgaben, bei deren Lösung der Kraft- und Zeitbegriff eine Rolle spielt, und denjenigen, welche sich von diesem frei erhalten. Letztere gehören in die Kinematik oder Geometrie der Bewegung, wovon später; erstere bilden das Objekt der Dynamik. Die Physik als solche hat mit der füglich zur reinen Mathematik zu rechnenden Kinematik weniger zu thun, und ihre Pflege war denn auch immer wesentlich den Geometern überlassen, unter denen M. Chasles (1793—1880) hervorragend zu nennen ist. Die Dynamik hatten ausgezeichnete Mathematiker einer früheren Epoche aus gewissen generellen Grundlehren herzuleiten gewußt, aus dem Prinzipe von D'Alembert und aus demjenigen der virtuellen Geschwindigkeiten, darin bestehend, daß man für jede

Kraft ihr Produkt mit der Projektion der Geschwindigkeit ihres irgendwie bewegten Angriffspunktes auf die Kraftrichtung bildet und diese Produkte zu einander addiert; für den Fall des Gleichgewichtes annulliert sich diese Summe. Schon von Guidobaldo del Monte und Galilei zu Beginn des 17. Jarhunderts richtig gefühlt, von Johann Bernoulli gelegentlich angewendet, entfaltete das Prinzip seine ganze Kraft erst unter den Händen Lagranges. Kein geringerer als Gauß gab (1829) ein neues, ebenfalls sehr weit tragendes Prinzip an, das des kleinsten Zwanges, allein dasselbe hat sich nicht durchgesetzt, weil das Wesen des Zwanges nicht an sich klar, sondern erst durch eine Definition festzustellen war, und weil die Handhabung der betreffenden Bestimmungen nur mühsam erfolgen konnte. Auch das von dem irländischen Astronomen Royal Rowan Hamilton, dem uns aus Abschnitt III bekannten Erfinder des Quaternionenkalküls, in die Wissenschaft eingeführte Prinzip der variierenden Wirkung ist von tief einschneidender Bedeutung geworden, freilich aber nur bei den höchsten und schwierigst zu erläuternden Fragen; auf eine befriedigende gemeinverständliche Erklärung dessen, was Hamilton anstrebte, befürchten wir Verzicht leisten zu müssen. Nur daran sei erinnert, daß das Prinzip herauswuchs aus dem von Maupertuis im Jahre 1746 bekannt gemachten Prinzipe der kleinsten Aktion; eine gewisse Integralgröße, auf die ganze Bahn eines Systemes aus der Lage a in die Lage b erstreckt, wird für die wirklich statthabende Bewegung kleiner, als sie werden würde, wenn das System von a nach b auf irgend einem anderen Wege gelangte. Dieser Satz hat viel Widerspruch bei den Zeitgenossen hervorgerufen, und es ist deshalb gewiß um so bemerkenswerter, daß er durch das Hamiltonsche Prinzip, so drückt man sich gewöhnlich aus, seine Rehabilitierung gefunden hat. Von letzterem sprach Helmholtz als von einem obersten Naturgesetze, welches in seine Giltigkeit wenigstens alle diejenigen Prozesse einschließe, denen die — in der Geschichte der Thermodynamik näher zu bestimmende — Eigenschaft der Umkehrbarkeit zukommt.

Manch neuen Gesichtspunkt eröffneten Untersuchungen über die Elastizität fester Körper. Zunächst war die theoretische

Seite des Gegenstandes die vorwaltende, indem sowohl Akustik wie Optik die Beschäftigung mit den inneren Gestaltveränderungen nahe gelegt hatten. Poisson und Cauchy waren auch hier die Wortführer. Allerdings nur teilweise wurden die von ihnen ermittelten Verhältnisse der Längenausdehnung zur Querverkürzung stabförmiger Körper durch die Versuchsreihen Cagniard de Latours und Wertheims bestätigt. Seit 1844 arbeitete auf diesem Gebiete mit großem Erfolge W. Wertheim (1815—1861), dessen zum Teile in Verbindung mit J. Chevandier (1810 bis 1878) veröffentlichte Abhandlungen die Begriffe Elastizitätskoëffizient, Elastizitätsmodul, Elastizitätsgrenze wissenschaftlich fixiert und auch über die Abhängigkeit der Schnellkräftigkeit von der Temperatur Aufklärung gegeben haben.

Die Hydrostatik und Hydrodynamik waren im Verlaufe des 18. Jahrhunderts aus rohen Anfängen zu exakten Wissenschaften erhoben worden, und es ist ganz verständlich, daß dem Aufschwunge nunmehr eine Pause folgte, während deren beträchtliche Fortschritte nicht zu verzeichnen sind. Nur die technische Mechanik war darauf aus, die theoretischen Untersuchungen für ihre Zwecke zu verwerten. C. L. M. H. Navier (1785—1836) war (1825) der erste, der die Bewegung einer strömenden Masse unter Beachtung der bisher ganz vernachlässigten Adhäsion studierte, welche zwischen Flüssigkeit und Röhrenwandung obwaltet; durch L. G. Brugnatelli (1761—1818), G. Carradori (1758 bis 1818) und Guyton de Morveau, welcher irrigerweise hier eine Äußerung chemischer Verwandtschaft vermutete, waren die Eigenschaften des Aneinanderhaftens von festen und flüssigen Körpern soeben zu erforschen begonnen worden, hauptsächlich in dem Sinne, ob das Abreißen einer Metallplatte von der Flüssigkeitsoberfläche mehr oder weniger Kraft erfordere. In etwas späterer Zeit begann der Freiberger Technologe J. Weisbach (1806—1871) mit der Anstellung jener Beobachtungsreihen über den Ausfluß sowohl des Wassers als auch der atmosphärischen Luft aus Röhren, sei es daß dieser ungehindert erfolgt oder durch Schieber, Klappen und Ventile reguliert werden soll. Besonders wichtig erschien vom physikalischen Standpunkte aus die Zusammenziehung des

Strahles, die schon Newton bemerkt, Daniel Bernoulli experimentell auf ihren Betrag zu prüfen unternommen hatte. C. Bossut (1730—1814), K. C. v. Langsdorf (1757—1834), J. A. Eytelwein (1764—1848) und Hachette gehören zu denen, welchen man die Beischaffung weiteren Erfahrungsmateriales zu dieser Frage verdankt, und der italienische Hydrotechniker F. D. Michelotti (1710—1777), dessen schon älteres Werk durch C. G. Zimmermanns Übersetzung im Jahre 1808 den Deutschen zugänglich gemacht ward, operierte sogar mit einem Wasserbehälter von 20 Fuß Höhe, der durch einen Bach gefüllt und durch äquidistante Seitenöffnungen entleert werden konnte. Den Wasserstoß untersuchte namentlich Bossut, ohne jedoch zu allgemein gebilligten Gesetzen durchzudringen. Die theoretische Seite der Physik des Wassers blieb in unserem Zeitraume entschieden zurück hinter der praktischen, welche in großartigen Kanalbauten und Entwässerungsarbeiten ihren vollendeten Befähigungsnachweis ablegte. Es sei nur erinnert an De Pronys Gutachten über die Trockenlegung der Pontinischen Sümpfe (1823) und an H. K. Escher v. d. Linths (1767—1823) wohlthätige Kanalisierung der vom Walen- zum Züricher-See gehenden Linth, welche fast die beiden ersten Dezennien des Jahrhunderts in Anspruch nahm und eine schädliche Sumpfwüste in fruchtbares Kulturland umwandelte.

Nur eine große Leistung ist auf hydrodynamischem Gebiete zu verzeichnen; sie fällt in das Jahr 1834. Aus kosmologischen Beweggründen hatte man die Gestalt rotierender, inkompressibler Flüssigkeitsmassen in Betracht gezogen; es herrschte die Ansicht, daß als sogenannte Gleichgewichtsfigur ausschließlich das Rotationsellipsoid Geltung besitzen könne. Jacobi (1804 bis 1851), dessen als eines der ersten mathematischen Sterne Deutschlands bereits zu gedenken war, löste die einschlägige Aufgabe unter ganz allgemeinen Voraussetzungen und zeigte, daß auch das dreiachsige Ellipsoid, allerdings nur unter gewissen von ihm näher erörterten Voraussetzungen, eine Gleichgewichtsfigur ist; später haben E. A. Roche (1820—1883) und H. F. L. Matthießen (geb. 1830) auch noch anderen Körperformen diese Eigenschaft zuerkannt. Die Erde könnte somit, rein formell betrachtet, auch ein

Körper mit drei ungleichen Hauptachsen sein, und es ist auch von dem russischen General Th. v. Schubert (1789—1865) bald nachher eine zur Klarstellung des Sachverhaltes dienliche Rechnung angestellt worden. Indessen hat sich ergeben, daß das Schubertsche Ellipsoid zur Aufnahme der verschiedenen Gradmessungsresultate sich doch auch nicht besser als ein gewöhnliches Sphäroid eignete, und auch viel später noch hat sich ein mit verbesserten Hilfsmitteln unternommener Versuch gleicher Tendenz als ein für den ins Auge gefaßten Zweck unzureichender herausgestellt.

Aërodynamische Untersuchungen der zwanziger Jahre sind in erster Reihe durch hüttenmännische Ansprüche veranlaßt worden, indem es auf die vorteilhafteste Einrichtung von Gebläsen ankam. Der berühmte französische Ingenieur D'Aubuisson (1769 bis 1841), der sich seine Fachbildung unter Werner in Freiberg angeeignet hatte, studierte den Widerstand, welchen Gase in Leitungen erfahren, und die Bedingungen ihres Ausströmens aus Öffnungen. Es wurde die Stärke des Druckes, den das Gas auf den umschließenden Körper im ruhenden und im bewegten Zustande ausübt, bestimmt und der letztere geringer gefunden. Ja sogar der in Zug übergehende negative Druck kam bereits 1827 zur Beobachtung bei dem bekannten Ansaugungsversuche, dessen Wesen Clément (gest. 1841) aufklärte. Auf einem dünnen Rohre sitzt, unmittelbar an der Öffnung, eine feste Scheibe, und eine zweite Scheibe wird jener in geringer Entfernung so gegenübergestellt, daß sie sich frei bewegen kann. Bläst man dann durch die Röhre Luft gegen die zweite Scheibe, so wird diese nicht etwa fortgetrieben, sondern sie bewegt sich gegen die erste hin und haftet an dieser. Wir haben dieser merkwürdigen Erscheinung später noch näher zu treten.

Bei allen den bisherigen Untersuchungen auf dem Gebiete der Physik tropfbarer und elastischer Flüssigkeiten kam die Frage ihrer molekularen Anordnung nicht besonders in Betracht. Aber auch sie wurde gestreift bei gewissen anderen hierher gehörigen Arbeiten, unter denen die zweifellos größte Wichtigkeit der Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten innewohnt. Ob von einer solchen die Rede sein könne, war vor achtzig Jahren zweifelhaft.

Die Accademia del Cimento, jene zu Galileis Andenken gestiftete und zur Pflege seiner Forschungsweise berufene Florentiner Körperschaft, hatte im 17. Jahrhundert die Entscheidung recht ernstlich angestrebt, allein indem ihre Mitglieder Hohlkugeln aus Metall mit Wasser füllten und durch Druck das Volumen derselben verkleinerten, erreichten sie nur, daß die Oberfläche mit feinen Tröpfchen beschlug; es war die Porosität als eine allgemeine Eigenschaft auch sehr undurchdringlich erscheinender Körper nachgewiesen, aber für die Hauptfrage war nichts gewonnen. Auch die scharfsinnig angelegten Versuche des Engländers Canton (1761) erreichten ihren Zweck nicht, weil die Glaswände, in welche die Prüfungsflüssigkeit eingeschlossen war, selbst auf die Pressung reagierten. Ein äußerst einfach aussehendes Hilfsmittel half Chr. Oersted in Kopenhagen (1777—1851) im Jahre 1822 über die hierdurch angedeutete Schwierigkeit hinweg; er schloß das mit Wasser gefüllte Kompressionsgefäß auch wieder in Wasser ein, so daß der von innen und von außen wirkende Druck sich völlig die Wage hielten, und war nun in die Lage versetzt, festzustellen, daß eine Raumverminderung des Wassers allerdings vorhanden sei, immerhin in so geringem Maße, daß man bei allen Rechnungen nach wie vor die Inkompressibilität als Thatsache bestehen lassen könne. J. D. Colladon (geb. 1802) und J. K. F. Sturm (1803—1855) haben bald darauf ein gleiches auch für andere tropfbar flüssige Substanzen dargethan, und der hierzu dienliche Apparat, das Sympiezometer, gehört seitdem zu den unentbehrlichen Inventarstücken eines physikalischen Kabinettes.

Ein anderer Komplex von Flüssigkeitserscheinungen zog nicht minder die Aufmerksamkeit der Gelehrten auf sich. Schon Fabri und Borelli hatten bemerkt, daß, wenn in eine Wassermasse zwei Röhren a und b eingetaucht werden, von denen a einen sehr viel kleineren lichten Durchmesser als b besitzt, das Wasser in a höher als in b steigt, während nach dem schon dem frühen Altertum bekannten Gesetze der kommunizierenden Röhren ein gleiches Niveau erwartet werden mußte. Daß der Luftdruck, an den Fabri appellieren wollte, mit der Sache nichts zu thun habe, hatte der geniale Borelli wohl erkannt, aber einen Grund für diese That=

sache der Haarröhrchenkraft oder Kapillarität, wie man sich nachmals ausdrückte, wußte auch er nicht anzugeben. Nahm man Quecksilber statt Wasser, so sah man abermals etwas Unerwartetes eintreten; in gewöhnlichen Röhren scheint diese spezifisch schwerste Flüssigkeit von der Wandung abgestoßen zu werden, so daß sich der bekannte Meniskus herausbildet, während enge Röhrchen eher eine Senkung des erwähnten Meniskus bemerken ließen. Eine erste Theorie der Kapillarität, welche darin das Richtige traf, daß sie auf die zwischen Flüssigkeit und festen Körpern wirkenden Molekularkräfte Bezug nahm, entwickelte Clairaut 1743 in seiner berühmten Schrift über die Erdgestalt, aber in ein System gebracht wurde dieser neue Zweig der Naturlehre erst durch den großen Laplace, der in den Jahren 1806—1807 jene zwischen den unendlich benachbarten Körperteilchen thätigen Kraftäußerungen analytisch untersuchte, welche die Kohäsion und Adhäsion zur Folge haben. Zwischen beiden Formen einer von der allgemeinen Schwere verschiedenen Anziehung war früher kein hinlänglich scharfer Unterschied gemacht worden; jetzt erfuhr man, daß Kohäsion nur zwischen den Partikeln des nämlichen, einer Trennung widerstrebenden Körpers und Adhäsion nur zwischen den Partikeln der Grenzschichten zweier sich berührender verschiedener Körper obwaltet. Wiegt die Adhäsion vor, wie es bei Wasser und Glas der Fall ist, so steigt die Flüssigkeit in einer Röhre am Rande auf, und wir konstatieren die kapillare Elevation; wenn anders die Kohäsion, der innere Zusammenhalt, der kräftigere Faktor ist, so erhebt sich die Mitte gegenüber den Randpartien, und es liegt kapillare Depression vor. Eine bestimmte Flüssigkeit bildet mit einem gleichfalls bestimmten Röhrenmateriale einen sich immer gleichbleibenden Winkel, den sogenannten Randwinkel; dessen Größe kann gemessen werden, und damit ist ein Maß zur Ermittlung des Verhältnisses zwischen Ad- und Kohäsion gegeben. Auch manche andere bisher unbegriffene Wahrnehmung fand jetzt ihre natürliche Deutung. So war bereits Borelli darauf aufmerksam geworden, daß, wenn man zwei unter kleinem Winkel gegeneinander geneigte Glasplatten in Wasser tauchte, letzteres in hyperbolischen Kurvenzügen an den Platten in die Höhe stieg — nach Laplace ebenfalls eine der

vielen Offenbarungen des Kapillaritätsphänomenes. Daß noch lange nicht alle Schwierigkeiten behoben waren, beweist u. a. Poissons erneute Bearbeitung dieser Theorie (1831), durch die jedoch die von seinem Vorgänger aufgestellten Hauptsätze nicht etwa als unbegründet, sondern lediglich die zu deren Beweise dienenden Methoden als fortbildungsfähig erwiesen wurden.

Von dem Akte der Bewegung in dünnen Röhrchen hatte man einstweilen abgesehen, zufrieden, den schon recht schweren Fall des Gleichgewichtes dem Verständnis erschlossen zu haben. Darüber hinaus gingen G. H. L. Hagen (1787—1884), einer der berühmtesten Hydrotechniker, die Deutschland je besessen hat, und J. L. M. Poiseuille (1799—1869), ein Mediziner, der sich mit Spekulationen über die Art der Aufnahme von Arzneistoffen durch den menschlichen Organismus abgab und dadurch auf die Strömungserscheinungen in den Kapillaren hingelenkt ward. Er fand, daß die Flüssigkeitsmenge, welche in gegebener Zeit die Röhre passiert, der vierten Potenz des Durchmessers proportional ist, während bei Öffnungen von normaler Weite ersichtlich nur das Quadrat in Frage kommen kann. Mit dem Durchgange von Flüssigkeiten und Gasen steht in naher Beziehung der Durchgang durch poröse Scheidewände, der zu den osmotischen Erscheinungen gehört. Nollet, einer der geschicktesten Experimentatoren des 17. Jahrhunderts, hatte entdeckt, daß sich, wenn man Wasser und Alkohol durch eine tierische Membran trennt, nach einiger Zeit auf deren beiden Seiten eine Mischung beider Flüssigkeiten befindet; dieselben sind durch die unsichtbaren Öffnungen der Haut hindurchgedrungen. Parrot, N. W. Fischer, am umfassendsten aber R. J. H. Dutrochet (1776—1847) verfolgten diesen Vorgang der Diffusion, indem sie auch die Verschiedenheit der Geschwindigkeiten beachteten, mit welchen der Strom von der einen und von der anderen Seite her die Blase passierte. Man suchte nach Gründen, welche diese Flüssigkeitswanderung verständlich machen konnten, und H. G. Magnus (1802—1870) wies auf die Kapillarität als auf die eigentliche Ursache hin; die ursprünglich gehegte Ansicht, daß irgend eine spezifische organische Funktion inmitten liege, mußte aufgegeben werden, nachdem man gesehen hatte,

daß Scheidewände aus anorganischen Stoffen, etwa aus Thon, sich durchaus nicht verschieden verhalten. Die Diffusion der Gase derjenigen der Flüssigkeiten zur Seite gestellt zu haben, ist das Verdienst Th. Grahams (1805—1869), der 1830 einen Gipspfropf als Diaphragma angewandt hatte. Die numerische Beziehung, welche ebenderselbe für den Gasaustausch aufstellte, hat sich nicht als Ausdruck eines wirklichen Naturgesetzes rechtfertigen lassen, allein als eine brauchbare Näherung ist die Grahamsche Regel doch auch von späteren Forschern anerkannt worden.

Mit Endosmose und Exosmose innig verwandt sind die Erscheinungen der Absorption von Gasen durch feste und tropfbarflüssige Körper. Was zuerst Fusinieri (1773—1853) und Bellani gefunden hatten, war mehr, um den modernen Namen zu gebrauchen, Adsorption; das Gas breitet sich in dünner Schicht auf der Oberfläche einer Substanz von anderem Aggregatzustande aus. Immerhin überzeugte sich der Erstgenannte doch auch von der Thatsache, daß elastisch-flüssige Körper in das Innere von festen eindringen und hier festgehalten werden, bis sie sich dann wieder losringen und an die Außenseite hervortreten. So wurde Fusinieri der Wiedererneuerer einer Lehre von der Taubildung, welche schon viel früher C. L. Gersten in Gießen (1748) begründet hatte, welche jedoch durch den Anklang, welchen die Doktrin von W. C. Wells (1757—1817) fand, gänzlich der Vergessenheit anheimgefallen war. Nach letzterer kondensiert sich der atmosphärische Wasserdampf in der Nähe des durch nächtliche Ausstrahlung sehr stark abgekühlten Bodens; nach Gersten-Fusinieri wird der Wasserdampf von Gestein und Pflanzen aufgesogen, verschluckt, und wenn dann eine namhafte Temperaturherabsetzung eintritt, erscheint er in Tropfenform an der betauten Fläche. Die Absorption von Gasen durch Flüssigkeiten ist eben auch wieder von Graham zum Gegenstande einer Experimentaluntersuchung gemacht worden.

Man sieht, zu molekularphysikalischen Spekulationen lagen um 1830 bereits Stoffe genug vor, denn man war auf eine ganze Reihe von Fällen gestoßen, in denen die zwischen den Elementarbestandteilen der Körper thätigen Attraktions- und Repul-

sionskräfte eine Rolle spielten oder doch zu spielen schienen. Doch sind die Physiker wenig hierauf eingegangen, wohl gewarnt durch die schlimmen Erfahrungen, welche man mit der naturphilosophischen Systembildung gemacht hatte, und ohne unbeweisbare Annahmen konnte es freilich nicht abgehen, wenn man das innere Gefüge der Substanz mit dem geistigen Auge zu durchdringen versuchte. Ein deutscher, wirklich viel zu wenig gekannter Gelehrter, M. L. Frankenheim in Breslau (1801—1869), verdient deshalb hier als der erste genannt zu werden, welcher solchen Erörterungen nicht aus dem Wege ging. Schon daß er in seiner Doktordissertation (1829) das heikle Thema von der Analogie und Verschiedenheit der Gase und Dämpfe behandelte, welche beide Erscheinungsformen des elastisch-flüssigen Zustandes damals, unter der Herrschaft der Lehre von den permanenten Gasen, als grundsätzlich disparat galten, beweist eine gewisse Kühnheit, und nachher blieb er stets verwandten Forschungen zugewandt. Er suchte die Kohäsion der Flüssigkeiten, welche er als Synaphie bezeichnete, wissenschaftlich zu begründen und studierte namentlich deren Abhängigkeit von der Temperatur; er beschäftigte sich mit dem merkwürdigen Ausnahmefalle, daß das Wasser bei + 4° C. seinen höchsten Konzentrationsgrad erreicht; er hat endlich bereits die „Anordnung der Moleküle in den Krystallen" betrachtet und kann in gewisser Hinsicht als Vorläufer von Delafosse und Bravais angeführt werden. Etwas später trat diesen Fragen näher ein Forscher, der bei längerem Leben vielleicht unsere Einsicht in die innere Beschaffenheit der Körperwelt erweitert hätte. Georg Simon Ohm (1787—1854), dessen Name zu den ausgezeichnetsten, in diesem Abschnitte zu nennenden gehört, ging mit der Absicht um, ein ausführliches Werk über Molekularphysik zu schreiben, allein bedauerlicherweise war der Plan für einen bereits in die Sechziger gekommenen, durch schwere Geschicke vorzeitig gealterten Mann viel zu weitschichtig angelegt. Ohm erachtete es nämlich für notwendig, dem Hauptwerk, dessen wesentliche Teile er im Kopfe fertig mit sich herumgetragen haben soll, zwei Bände vorauszusenden, in denen bezüglich Raumgeometrie und Mechanik im schiefwinkligen Koordinatensysteme dargestellt werden sollten. Der erste der beiden

Bände ist (Nürnberg 1849) wirklich erschienen; die Ausarbeitung der folgenden blieb in den Anfängen stecken, und unter den nachgelassenen Papieren hat sich nichts vorgefunden, was einen Fremden ermutigen konnte, die Hand an die unvollendete Arbeit zu legen.

Während auf deutschem Boden die Aufführung eines gewaltigen Formelbaus den Untergrund für ein dereinstiges Lehrgebäude der Molekularphysik legen sollte, hatte in dem praktischen England bereits der größte unter den experimentierenden Physikern aus der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts einen Grundstein dazu gelegt. Michael Faraday (1791—1867) hatte als Buchbinderlehrling die Vergünstigung erhalten, mehreren Zyklen populärwissenschaftlicher Vorträge anwohnen zu dürfen, darunter auch einem solchen des berühmten Chemikers Davy, mit dem er so in persönliche Berührung kam. Der erfahrene Mann erkannte bald, was in dem Jüngling steckte, und verschaffte demselben den Posten eines Assistenten am Laboratorium der Royal Institution, als welcher er schon 1816 seine ersten Vorlesungen hielt. Der Gegenstand derselben war ein sehr abstrakter („Darstellung der Eigenschaften, die der Materie inne wohnen, der Formen der Materie und der elementaren Stoffe"), aber Faraday hat es, wie sein Biograph Tyndall ihm mit Fug nachrühmt, von jeher außerordentlich gut verstanden, Induktion und Deduktion harmonisch miteinander zu verbinden, und so sah er auch gleich anfangs ein, daß nur der Versuch die Mittel zur Entschleierung der über der Textur der Körper schwebenden Rätsel liefere. Schon 1823 war er mit dem Grundversuche im Reinen. Ein wohlmeinender Freund, der zufällig in Faradays Laboratorium kam, sah, wie dieser, mit Chlor manipulierend, in einer Röhre einen grünlichen Körper eingeschlossen hatte, und gab ihn den guten Rat, bei der Reinigung der Gase vorsichtiger zu verfahren. Kaum heimgekehrt, erhielt er von dem, den er hatte belehren wollen, ein kurzes Billet folgenden Inhalts: „Geehrter Herr! Was Sie in der bewußten Röhre erblickt und für ein unreines Ölpräparat gehalten haben, war flüssiges Chlor. Faraday." Durch die Chlorverflüssigung war eine tiefe Bresche in das Dogma von der Permanenz der Gase gelegt und am Einzelfalle dargethan worden,

daß der Aggregatzustand nichts von Natur aus Gegebenes, sondern etwas von den herrschenden Verhältnissen des Druckes und der Temperatur Abhängiges ist. Auch in der Folgezeit ist Faraday auf dieses recht eigentlich molekularphysikalische Problem zurückgekommen, und eine größere Abhandlung des Jahres 1845 handelt ganz allgemein von Verflüssigung und Verfestigung solcher Substanzen, welche für gewöhnlich nur als Gase bekannt sind. Außer Davy, der sich von seinem früheren Schüler zu analogen Versuchen über die Flüssigmachung der Salzsäure anregen ließ, traten besonders der sonst wenig bekannte Thilorier und J. A. Natterer (geb. 1821) in die von Faraday eröffnete Bahn ein. Ersterer lieferte zuerst flüssige und feste Kohlensäure in größerer Menge; letzterer ebenso flüssiges und festes Stickstoffoxydul. Auch ist der Österreicher Natterer der Erfinder der jetzt im allgemeinen Gebrauche stehenden schmiedeeisernen Flaschen, in welchen man solche expansible Stoffe gefahrlos bergen kann — gewiß eine wichtige Neuerung, denn schon mancher hatte durch Springen seines Experimentierballons Wunden erhalten. Bei manchen gasförmigen Körpern, unter denen das durch extreme spezifische Leichtigkeit hervorragende Wasserstoffgas in erster Linie stand, gelang freilich auch bei ungeheuer hohem Drucke die Liquefaktion nicht, aber Faradays Scharfblick ließ ihn auch gleich die Ursache des Mißlingens herausfinden. Es sei eben, meinte er, die Temperatur noch immer eine zu hohe gewesen, und selbst die am permanentesten erscheinenden Gase würden bezwungen werden, wenn die Erzeugung der entsprechenden Kältegrade möglich sei. Es ist bekannt, daß die Prophezeiung des großen Physikers glänzend in Erfüllung gegangen ist.

Für die Gasphysik waren diese allgemeineren Studien doch auch in engerem Sinne sehr bedeutsam, weil sie dazu antrieben, das alte Gesetz über die Beziehung zwischen Druck und Temperatur, welches dereinst Boyle und Mariotte, unabhängig voneinander, aufgestellt hatten, mannigfaltigen Nachprüfungen zu unterziehen. Seine Originalfassung war: Das Produkt aus Druck und Volumen ist eine konstante Größe. Von Gay-Lussac war, worauf uns die Wärmelehre zurückführen wird, ein die Temperatur

berücksichtigendes Zusatzglied beigefügt worden. Jetzt aber stellten C. F. Despretz (1797—1863), Arago und P. L. Dulong (1785 bis 1838), Natterer und vor allem H. V. Regnault (1810 bis 1878), der geniale Herrscher im Reiche der Dämpfe, umsichtige Beobachtungen über die Giltigkeit des Mariotteschen Gesetzes an und fanden, wiewohl nicht in allen Punkten übereinstimmend, daß bis zu sehr hohem Drucke dasselbe wirklich zu recht besteht und erst dann ins Schwanken gerät, wenn dem der Pression ausgesetzten Gase allmählich sein Charakter verloren geht, wenn es jene absolute Bewegungsfreiheit der kleinsten Teile einzubüßen anfängt, welche gerade das Wesen des Gases bestimmt.

Wir haben bisher von den in molekulartheoretischer Beziehung beinahe entscheidenden Wärmewirkungen nur ganz gelegentlich gesprochen, weil es unsere Absicht ist, in dieser geschichtlichen Übersicht denselben Gang einzuhalten, den die Systematik der Wissenschaft bis in die neueste Zeit herein für den allein richtigen und natürlichen gehalten hat. So versteht es sich denn von selbst, daß uns sowohl in der Akustik, wie auch in den als Physik des Äthers bezeichneten Disziplinen manche Fragen wiederum begegnen werden, welche sich auf Gase und Dämpfe, und damit auf die Atomistik, beziehen. Fürs erste dagegen ist es unsere Pflicht, von den Fortschritten der Wellenlehre Akt zu nehmen, welche ja damals schon als für die Lehre vom Schalle wie für die Lehre vom Lichte grundlegend anerkannt war. Sie hatte seit den drei Jahrhunderten, welche sie von Lionardo da Vincis erstmalig durchgeführter Scheidung der translatorischen und undulatorischen Bewegung trennte, keine besonders rasche Entwicklung erfahren. Galilei hatte die durch Interferenz sich bildenden stehenden Wellen richtig definiert; B. Franklin hatte zuerst den Prozeß der Entstehung von Wasserwellen unter der Einwirkung des Windes in einer Weise anschaulich zu machen gesucht, der man auch heute noch nicht alle Berechtigung abstreiten kann; die Gezeitenbewegung galt seit Laplace als das großartigste unter den bekannten Beispielen für diese Bewegungsform; endlich erheischte die Vibrationstheorie des Lichtes seit kurzem eine erhöhte Beachtung. So kam es, daß im neuen Jahrhundert die Bestrebungen sich mehrten, mathe-

matisch und experimentell Aufklärung über das Wesen der Wellenbewegung zu schaffen.

Nach der ersteren Seite hin sind die Untersuchungen von H. Flaugergues (1755—1835) und F. J. v. Gerstner (1756 bis 1832) hervorzuheben, deren Endzweck dahin zu charakterisieren ist, daß die geometrische Gestalt des Wellenprofiles ermittelt werden sollte. Beide Gelehrten kommen darin überein, daß die Wellenlinie zu den sogenannten zyklischen Kurven oder Trochoiden gehört, und dieses Ergebnis hat auch den Beifall der neueren Wissenschaft gefunden. Freilich tritt es nicht immer rein in die Erscheinung, weil gar zu leicht sekundäre Einflüsse trübend und störend eingreifen; weitaus die beste Gelegenheit, echt trochoidische Wellen zu sehen, bietet die Dünung, jene ruhige, regelmäßige Bewegung des Wassers, welche in den großen Meeren durch einen heftigen Wind in einer vom Beobachtungsorte weit entfernten Gegend ausgelöst ward. Einen Ausdruck für die Höhen von Wellen leitete 1815 Poisson sowohl für enge Becken, wie auch für eine unendlich ausgedehnte Wassermasse — einen Ozean — ab, und Cauchy that 1827 ein gleiches für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Wellenscheitels. Selbstverständlich bedurften diese analytisch gefundenen, also unter gewissen erst noch auf ihre Berechtigung zu prüfenden Voraussetzungen giltigen Sätze der Nachprüfung durch den Versuch.

In diesem Sinne war bereits J. Biot thätig gewesen, und ihm folgte der Piemontese G. Bidone (1781—1839), der die Sache im größten Stile betrieb. Sein Verfahren der Wellenerzeugung bestand darin, daß er zylindrische und konische Körper langsam ins Wasser tauchte, dessen vollständige Beruhigung abwartete und nunmehr das eingesenkte Objekt mit jähem Rucke herauszog. Die Übereinstimmung mit den Angaben Poissons stellte sich nicht als eine so zufriedenstellende heraus, wie vielleicht diejenigen gehofft hatten, welche sich von dem hypothetischen Charakter der Rechnung keine genügende Rechenschaft gaben. Eine Vervollkommnung, welche alles bisherige weit hinter sich ließ, ward dem experimentellen Apparate durch die Gebrüder Weber zu teil, deren Namen mit ihrer ebenso einfachen wie zweckmäßigen

Wellenrinne untrennbar verknüpft sind. Die drei Weber gehören zu den bedeutendsten Erscheinungen im wissenschaftlichen Leben des Jahrhunderts, und zwar tritt in diesem Dreigestirne wieder am meisten hervor Wilhelm Eduard (1804—1891), einer der „Göttinger Sieben", den der Machtspruch eines Despoten von seiner mit so viel Erfolg verwalteten Professur in Göttingen entfernte, der aber später mit den höchsten Ehren dorthin zurückgerufen wurde. Mit seinem jüngsten Bruder Eduard Friedrich (1806—1871) verfaßte er ein von den Physiologen hoch geschätztes Werk „Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge" (Göttingen 1836); mit dem älteren Bruder Ernst Heinrich (1795—1878) verband er sich zu jener glänzenden Versuchsreihe, welche „Die Wellenlehre auf Experimente gegründet" (Leipzig 1825) dem Publikum vorlegte. Die erwähnte Rinne war ein länglicher Glaskasten mit rechteckigen Wänden, in den Wasser mit eingestreuten leichten Körperchen gegeben war, deren Bewegung den Verlauf der Welle zu kontrollieren gestattete. Um letzteren möglichst regelmäßig zu gestalten, sog der Experimentator am einen Ende mittelst eines Röhrchens eine kleine Wassermenge in die Höhe und ließ diese sodann fallen; dieser einmalige Stoß brachte dann eine vibratorische Bewegung der ganzen Masse zuwege. Die uns geläufigen Begriffe Wellenberg, Wellenthal, Wellenhöhe, Wellenlänge (hier allerdings „Wellenbreite" genannt) stammen aus dem Werke der beiden Weber. Es wurde mit Sicherheit ermittelt, daß das einzelne Wasserteilchen, während der einmal gegebene Impuls sich durch die Flüssigkeit fortpflanzt, in vertikal gelegenen, stark exzentrischen Ellipsen umlaufen, die gegen oben zu einem Kreise ähnlicher werden, in größerer Tiefe aber zu horizontalen Linien degenerieren. Die Interferenzen, welche statthaben, wenn zwei verschiedene Wellenzüge sich durchkreuzen, wurden genau studiert, und als das nächstliegende Mittel zur Erzeugung stehender Wellen — der „Seiches" in den Binnenseen — wurde angegeben, einen fortschreitenden Zug mit dem, der durch Zurückwerfung des erstgenannten von einer Wand entsteht, zum Interferieren zu bringen; dann entstehen, je nach den Umständen, mehrknotige Schwingungen, deren Bäuche und Knoten dem Auge erkennbar gemacht werden können. Man hat es zwar



Michael Faraday

A. Weger sculps.

zunächst nur mit Undulationen in einem inkompressibeln Medium zu thun, allein die beiden Weber zeigten auch, welche Änderungen, vor allem bezüglich der Translationsgeschwindigkeit, an den für Wasserwellen nachgewiesenen Thatsachen anzubringen sind, um diese auch der vibratorischen Bewegung in einem elastischen Mittel anzupassen.

So war denn also auch auch die Akustik in den Stand gesetzt, die neuen Errungenschaften für ihre Zwecke zu verwerten, und dies wurde auch von deren namhaftestem Vertreter in jener Epoche, Chladni, unumwunden zugestanden. Derselbe erlebte gerade noch das Erscheinen des Weberschen Buches und empfahl es angelegentlich. Wir lernten diesen Mann schon oben bei den Meteorsteinen kennen; hier haben wir es mit dem Physiker zu thun, der durch die Not des Lebens zur Vorführung seiner neu erfundenen musikalischen Instrumente auf Kunstreisen genötigt war, dabei aber doch Zeit und Kraft übrig behielt, um die Theorie des Klanges ebenso wie die akustische Praxis zu bereichern. Seine „Akustik“ (Leipzig 1802) erhebt die bisher etwas stiefmütterlich von den physikalischen Lehrbüchern behandelte Disziplin zu einem selbständigen Spezialfache, indem ganz allgemein die Schwingungen beliebig gestalteter Körper und die hierdurch in der Luft ausgelösten Töne untersucht werden. Er zuerst hat die von dem Conte Riccati (1767) nur gelegentlich erwähnte, fundamentale Trennung zwischen transversalen und longitudinalen Schwingungen ausgesprochen und durchgeführt, an welche er dann noch die aus beiden, koëxistierenden Gattungen sich zusammensetzenden Torsionsschwingungen anreihte; er hat die Oszillationen von Glocken und Platten betrachtet und ein treffliches, seitdem in den verschiedensten Umformungen die Experimentalphysik beherrschendes Verfahren ausgedacht, diese Schwingungen durch Hilfskörper sozusagen zu substantiieren. Wenn man eine gleichmäßig mit feinem Staube oder Pulver bedeckte Scheibe verschiedenartig einklemmt und mit einem Bogen am Rande anstreicht, so sieht man, wie sich die leicht bewegliche Masse zu ganz regelmäßigen Liniengebilden, den Chladnischen Klangfiguren, anordnet, welche also ein deutliches Bild des augenblicklichen Bewegungs-

zustandes des schwingenden Objektes ergeben. Napoleon ließ sich dieselben von ihrem Entdecker in Paris demonstrieren und wies ihm daraufhin die Mittel zu, um eine französische Bearbeitung seines Werkes veranstalten zu können. Das Pariser Institut aber hielt die Sache für wichtig genug, um einen Preis für den auszusetzen, der auf analytischem Wege die Schwingungen elastischer Flächen erforschen und die Knotenlinien als mit den Klangfiguren übereinstimmend aufzeigen würde. Eine voll befriedigende Lösung war nach dem damaligen Stande der Mathematik nicht wohl möglich. Erst die zwei großen Formelbezwinger Poisson und Cauchy gelangten zu angenäherten Resultaten, und auch eine gelehrte Dame, Fräulein Sophie Germain (1776—1831), bekam später (1816) einen Teil des Preises, weil sie in ihrem Mémoire die Differentialgleichung des Bewegungszustandes der schwingenden Platte richtig aufgestellt und ebenfalls approximativ aufgelöst hatte. In späterer Zeit hat dann Ch. Wheatstone (1802—1875) eine verbesserte und erweiterte Theorie der Klangfiguren gegeben. Bemerkt sei noch, daß F. Savart (1791—1841), ein ideenreicher, aber in der Verwirklichung seiner Gedanken nicht immer vom Erfolge begleiteter Physiker, Chladnis Unterscheidung dreier verschiedener Gattungen von Schwingungen verwarf, indem er bei seinen Studien über musikalische Resonanz zu der Überzeugung gekommen war, daß doch in letzter Instanz immer nur eine Molekularverschiebung vorliege, die sich so oder so äußern könne. Das ist wohl wahr, aber die Bethätigung jener inneren Umlagerung erfolgt eben doch nur in einer der drei von Chladni bestimmten Formen. Die beiden Weber stellen zweckmäßig primäre und sekundäre Schwingungen einander gegenüber; erstere haben dieselbe Richtung, in welcher die Welle selbst sich fortpflanzt, während die anderen senkrecht zu dieser Richtung erfolgen.

Glücklicher war Savart in seinen Bemühungen, die Dilatation und Kontraktion longitudinal schwingender Stäbe, ganz im Geiste von Chladnis Methodik, durch aufgestreuten feinen Sand in Knotenlinien abzubilden, und ähnlich vermochte er auch über die Bewegungsverhältnisse der Luft in tönenden Pfeifen Licht zu verbreiten. Wenn sich in einer solchen Interferenzen bilden,

so kann der Ton, falls nämlich zwei dem absoluten Werte nach gleiche, aber dem Bewegungssinne nach entgegengesetzte Phasen zusammenkommen, vollständig vernichtet werden; um dies nach Belieben ermöglichen zu können, konstruierte W. Hopkins (1793 bis 1866) die nach unten sich doppelt gabelnde Röhre, welche man vertikal so hält, daß die beiden unteren Öffnungen sich gerade über entgegengesetzt gerichteten Punkten einer schwingenden Membran befinden. Schwingungszahlen genau zu messen, hatte sich ebenfalls Chladni bereits angelegen sein lassen, aber ein direktes Verfahren besaß man nicht, und wiewohl Hooke (1681) und Stancari (1706) durch die Umdrehung von Rädern den Zusammenhang zwischen Tonhöhe und Schwingungszahl numerischer Bestimmung zu unterwerfen versucht hatten, so war doch das Gelingen ein so prekäres, daß Sauveur, der seinerzeit bedeutendste Vertreter der Lehre vom Schalle, zu indirekten Auskunftsmitteln seine Zuflucht nehmen zu müssen glaubte. Hier half endgiltig ab die Erfindung der Sirene durch C. Cagniard de Latour (1777—1859). Zwei am Rande durchlöcherte horizontale Platten stehen sich gegenüber; die Löcher sind aber beide Male nicht übereinstimmend, sondern so gebohrt, daß das Durchpassieren eines Luftstromes durch die Lochreihen der unteren Scheibe eine Rotation der oberen zur Folge hat. Die Geschwindigkeit letzterer läßt sich durch das bekannte Zählwerk sehr genau fixieren, und wenn man die Höhe des etwas heulenden Tones bestimmt, welcher beim Durchzwängen der Luft durch die Öffnungen zustande kommt, so hat man eine sehr sichere Möglichkeit zur Ermittlung der gesuchten Größe. Wir haben hier das von Seebeck, Savart, K. R. König, Helmholtz und andere verbesserte Instrument so beschrieben, wie es gegenwärtig in unseren physikalischen Hörsälen seine Dienste verrichtet; ursprünglich vertraten die Lücken der am Rande gezahnten Scheiben die Stelle der Löcher. Savart, der als früherer Ohrenarzt sich namentlich auch für die psychologisch-physiologische Seite der Akustik lebhaft interessierte, benützte die Sirene zur Feststellung der oberen und unteren Hörbarkeitsgrenze der Töne für ein normales Gehörorgan.

Die Fortpflanzung des Schalles stand in den ersten Jahrzehnten gleichfalls häufig zur Diskussion, und ganz natürlich

dachte man zunächst an die Fortpflanzung in der Luft, erst weiterhin auch an die in anderen Gasen. Newton hatte eine Formel zur Berechnung der Geschwindigkeit aufgestellt, aber diese ergab einen gegen die bisherigen empirischen Bestimmungen viel zu kleinen Wert, ohne daß es doch möglich gewesen wäre, einen Fehler in ihrer Herleitung aufzudecken. Zunächst mußte also der faktische Wert der sogenannten Fortpflanzungskonstante möglichst zuverlässig bekannt sein. Zu dem Ende veranstaltete Benzenberg 1809 Messungen in der Umgegend von Düsseldorf, aber diese, von einem einzelnen ins Werk gesetzt, konnten nicht so genau ausfallen, wie die umfassenden Beobachtungen der Pariser Akademiker im Jahre 1822, denen 1824 diejenigen der beiden Holländer G. Moll (1785—1338) und A. van Beek (1787—1856) nachfolgten. Jene der Akademie wurden von Arago geleitet, und der damals noch in Paris weilende A. v. Humboldt nahm daran teil; man hatte die ein unbeschränktes Gehörfeld darbietende Hochfläche von Villejuif ausgewählt und maß hier die Zeit, welche zwischen dem Aufblitzen eines Kanonenschusses und dem Anlangen des Knalles verfloß. Die Ursache der Diskrepanz zwischen Theorie und Erfahrung war damals bereits ermittelt worden; Biot, und noch klarer Laplace, hatten den konstanten Faktor gefunden, mit welchem der Newtonsche Ausdruck multipliziert werden muß, um ganz korrekt zu werden. Das Wesen dieses Multiplikators kann freilich erst in der Wärmelehre klargestellt werden. Auch kommt der Laplaceschen Formel eine ganz souveräne Geltung zu, mag nun der Stoff, in dem der Schall fortschreitet, fest, flüssig oder gasförmig sein. Bestimmungen der ersteren Art hatten C. Wünsch (1744—1828) und Chladni zu Ende des 18. Jahrhunderts vorgenommen; Messungen der Fortleitungskonstante in Flüssigkeiten hat man zuerst von Cagniard de Latour, der seine Sirene durch einen Wasserstrom zum Tönen brachte. Es ist indessen das hier in Mitte liegende Problem ein ganz besonders schwieriges, denn die durch das Experiment im Laboratorium gelieferten Werte wollten nie recht zu den aus direkter Beobachtung geschöpften stimmen. Die beiden Genfer J. D. Colladon und J. K. F. Sturm ließen 1837 in ihrem heimischen See eine Glocke unter Wasser

schlagen und fingen in gewissen Entfernungen den Ton auf; ihre Messungen haben bis zum heutigen Tage ihr Gewicht behauptet.

Noch eines anderen akustischen Phänomenes muß hier gedacht werden, an dem sich der Scharfsinn mehrerer bedeutender Forscher erprobte. Durch Gilberts „Annalen" hatte man schon längst Kunde von einer in den Mansfelder Silberminen gemachten Wahrnehmung Kunde erhalten: Silberplatten, die eben erst aus dem Schmelzflusse erstarrt waren, hatte man zum Zwecke rascherer Abkühlung auf einen Ambos gelegt, und da gab dann die sich abkühlende Masse einen Ton von sich, während zugleich die Unterlage zu zittern anfing. Durch die Erklärungen von W. Trevelyan (1797—1879) und Faraday, welche am Wackler (Trevelyan-Instrument) die Vorgänge in ihrer Aufeinanderfolge studierten, wurde konstatiert, daß das Metallstück bald mit einem wärmeren, bald mit einem kälteren Teile die Basis berührt, so daß es also in eine schwankende Bewegung gerät, und diese sich dann natürlich auch wieder auf die umgebende Luft überträgt. Die Meinung des Schotten J. D. Forbes (1809—1868), daß nur bei Anwendung gewisser Materien der Ton vernehmbar werde, konnte den Einwürfen von Seebeck — und nachmals von Tyndall — gegenüber nicht aufrechterhalten werden.

Hundert Jahre vor der Zeit, in welcher wir uns augenblicklich bewegen, hätten die meisten zwischen Akustik und Optik höchstens äußerliche Ähnlichkeiten — geradlinige Fortpflanzung der Impulse, Zurückwerfung und Brechung der Strahlen — gelten lassen. Die Vibrationstheorie des Lichtes, von deren ersten Anfängen unser einleitender Abschnitt berichtete, hat diesen Sachverhalt gründlich umgestaltet. Allerdings bildet auch jetzt noch die geometrische Optik, welche es mit Photometern, Spiegeln und Linsen zu thun hat, die Einleitung zur physikalischen, aber diese eben steht und fällt mit den Gesetzen der Wellenbewegung. Diese reformatorische Erkenntnis war nicht das Eigentum einer einzelnen Person, wie denn überhaupt nur höchst selten eine Erfindung oder Entdeckung fertig aus einem Kopfe, so wie Athene aus dem Haupte des Zeus, hervorgeht, sondern es lag die große Neuerung geradezu in der Luft, und müßig wäre es, peinliche Prioritätsuntersuchungen

anstellen zu wollen. Die Namen Young, Arago, Fresnel, Malus verdienen gleichmäßig in den Geschichtsbüchern der Physik ihren Ehrenplatz.

Thomas Young, schon in der Einleitung erwähnt, ein polyhistorisch angelegtes Genie, stellte der longitudinalen Theorie der Lichtschwingungen, durch welche Huygens die Doppelbrechung des Lichtes im isländischen Kalkspat zu erklären versucht hatte, die transversale gegenüber. Alle Körper ohne Ausnahme, insonderheit aber unser Auge und die durchsichtigen und durchscheinenden Substanzen sind erfüllt vom Lichtäther, einem überaus feinen, unwägbaren Medium, dessen kleinste Teilchen sich, sobald ein Lichtimpuls sie trifft, in Bewegung setzen. Und zwar schwingen sie wahllos in einer zum Lichtstrahle selbst senkrecht stehenden Ebene. Zunächst gab Young, der damals noch ganz im Bannkreise der Huygensschen Lehre stand, eine Theorie der Farben dünner Blättchen und der farbigen Schattensäume, welche sich bilden, sobald das Licht sich durch ein Aggregat kleiner Körperchen seinen Weg suchen muß. An den Oberflächen derselben erleidet es eine Beugung, eine Ablenkung vom normalen, geradlinigen Wege, und indem dann Strahlen von verschiedener Phase sich begegnen, ändert sich die Wellenlänge, welche selbst wieder die Farbe bedingt. Eine hierauf abzielende Mitteilung war von Young schon 1803 der königlichen Gesellschaft der Wissenschaften gemacht worden, allein man hatte sie wenig beachtet, und auch die umfassendere Darstellung in dem 1807 veröffentlichten „Course of Lectures on Natural Philosophy" drang wenigstens nicht in das Ausland. So geschah es, daß Augustin Fresnel im Jahre 1815 aus eigenster Initiative eine fast in allen Teilen gleichwertige Theorie der Lichtinterferenz und Diffraktion aufstellen konnte; erst im Jahre darauf, als Arago bei Young einen Besuch machte und diesem von der Entdeckung Fresnels erzählte, erfuhr ersterer, daß der englische Physiker mit dem französischen gleiche Bahnen eingeschlagen hatte, und sorgte dann auch für öffentliche Anerkennung dieser Thatsache. Aber Young ging auch noch weiter. In gewöhnlichen Körpern, so nahm er an, herrscht Isotropie; das Licht pflanzt sich, wie die Wärme, gleichmäßig nach allen

Seiten fort, und die Wellenfläche, auf der alle Punkte liegen, bis zu welchen alle Lichtstrahlen in der nämlichen Zeit vordringen, ist eine dem Emissionspunkte konzentrische Kugelfläche. Anders bei den einachsigen Krystallen, die eben Bartholinus und Huygens untersucht hatten. Jetzt ist die Elastizität in zwei auf einander senkrechten Fortschreitungsrichtungen verschieden; es tritt eine Spaltung des einfallenden Lichtes in einen normalen und einen außerordentlichen Strahl ein, so daß ein durch den Krystall angeschauter Gegenstand doppelt gesehen wird; die Lichtwellen können sich nicht mehr gleichmäßig ausbreiten, und an die Stelle der sphärischen Wellenfläche tritt ein Umdrehungsellipsoid. Diese Theorie nun hat Fresnel 1817 ganz außerordentlich vervollkommnet. Es giebt auch zweiachsige Krystalle, für welche sich die Verhältnisse der elastischen Fortleitung ungleich verwickelter anlassen. Fresnels Verdienst ist es, auch sie der geometrischen Regel dienstbar gemacht zu haben. Die Fresnelsche Wellenfläche ist eine solche vierter Ordnung, aber es gelang trotzdem, für ihre Erzeugung eine verhältnismäßig einfache Vorschrift zu erteilen. Sowie man sie konstruiert hat, ist man auch in die Lage versetzt, den Weg der beiden den Krystall passierenden Lichtstrahlen zu verzeichnen. Während aber im vorigen Falle der normale Strahl das übliche Brechungsgesetz befolgt, trifft dasselbe bei zweiachsigen Krystallen überhaupt nicht mehr zu, und jeder der beiden Strahlen geht seinen eigenen Weg. Daß die Fresnelsche Fläche sowohl das Sphäroid als auch die Kugel als Spezialitäten in sich schließt, bedarf kaum der Erwähnung.

Man war dazumal gewöhnt, alle Lichtstrahlen, welche sich irgendwie ungewöhnlich verhielten, als polarisiert zu bezeichnen, indem man sich gewissermaßen die verschiedenen Seiten des unendlich dünnen Zylinders, der eben den Strahl darstellt, als mit verschiedenen Eigenschaften, den Polen eines Magneten vergleichbar, begabt dachte. Allein schon stand eine neue Entdeckung vor der Thüre, welche zunächst auch dem bestehenden, etwas unklaren Begriffe angegliedert werden mußte, und diesem Umstande, daß die anscheinend unvereinbarsten Phänomene in die Zwangsjacke einer schließlich doch nur aprioristischen Erklärung gesteckt wurden, ist es

zu danken, daß einzelne bevorzugte Geister den Dingen um so schärfer auf den Grund gingen. Im Jahre 1808 bemerkte E. L. Malus (1775—1812), durch die stärkeren und schwächeren Sonnenreflexe an weit entfernten Fenstern aufmerksam gemacht, eine neue Eigenschaft des Lichtes, die durch Spiegelung erfolgte Polarisation. Wenn ein Strahl unter einem für jede Substanz konstanten Winkel, dem Polarisatioswinkel, auf einen Spiegel fällt und gleich darauf, von letzterem zurückgeworfen, einen zweiten Spiegel aus gleichem Stoffe unter demselben Winkel trifft, so wird er, falls die spiegelnden Ebenen beide Male parallel waren, abermals reflektiert, ohne daß an ihm irgend etwas Ungewöhnliches wahrzunehmen wäre. Anders wird es, wenn man den zweiten Spiegel dreht, so zwar, daß er mit dem Lichtstrahle stets den gleichen Winkel bildet, zur ersten Spiegelebene aber nach und nach die verschiedensten Stellungen einnimmt. Bei dieser Drehung wird der zweimal reflektierte Strahl immer schwächer, bis er bei senkrechter Stellung der beiden Ebenen ganz verschwindet. Wenn der ursprüngliche Winkel nicht gleich dem Polarisationswinkel ist, so tritt die Abschwächung der ursprünglichen Lichtstärke minder deutlich hervor, bleibt aber erkennbar, und man kann durch geeignete Spiegelung feststellen, ob gegebenes Licht ursprüngliches oder zurückgeworfenes ist; das Licht des Mondes und der Planeten z. B. ist polarisiert. Die Entdeckung der vollkommenen Polarisation muß D. Brewster, dem Erfinder des wohlbekannten Kaleidoskopes und Leiter mehrerer großen litterarischen Unternehmungen auf naturwissenschaftlichem Gebiete, zugeschrieben werden. Fresnel und der zu ihm in enger Arbeitsgemeinschaft stehende Arago führten auch diese Art der Polarisation auf die Lehre von den transversalen Lichtwellen zurück und wiesen auch nach, daß für die anormalen Strahlen der Krystallbrechung dasselbe optische Verhalten bestehe. Um dies sofort einleuchtend machen zu können, fehlte es noch an einem geeigneten Hilfsmittel; dieses lieferte W. Nicol (1768—1851) nach, indem er eine eigenartige Kombination von zwei mit Kanada-Balsam verkitteten Kalkspatprismen — das vielgebrauchte Nicolsche Prisma — ersann. Der einfallende Strahl wird in einen gewöhnlichen und außergewöhnlichen

Strahl zerlegt, und diese beiden Strahlen sind entgegengesetzt polarisiert. Die Balsamschicht lenkt den normalen Strahl so vollständig ab, daß er nicht in das Auge gelangt, und es wird ersterer vollständig ausgeschaltet. Durch Drehung des „Nicol", wie die gewöhnliche Ausdrucksweise lautet, vermag man also alle Übergänge zwischen voller Helligkeit und absoluter Dunkelheit wechselnd herzustellen.

Die Aufnahme der Undulationstheorie vollzog sich nicht ganz leicht und mühelos, sondern es hatte dieselbe, wie es ja nicht leicht einer Neuerung erspart bleibt, mit mancherlei Mißverständnissen zu kämpfen. Davy und der geistvolle Kritiker H. Brougham (1778—1868) konnten sich, bei aller Achtung vor Young, mit dessen Ideen nicht befreunden, und sogar Brewster zählte ursprünglich zu den Gegnern. Allein die überraschende Art, wie die einzelnen Hypothesen unter sich stimmten und auch neu hinzukommende Erfahrungen sofort richtig zu interpretieren erlaubten, versöhnte einen Widersacher nach dem anderen, darunter auch die strengen Mathematiker des Laplaceschen Kreises, welche an Fresnels keckem Operieren mit imaginären Größen Anstoß genommen hatten. Zwischen den beiden Freunden Biot und Arago spielte sich manche Kontroverse ab, aber dem letzteren verblieb die Oberhand. Brewsters Entdeckung, daß gepreßtes Glas seinen Krystallcharakter ändere und die Isotropie verliere, ward von Fresnel aus seinen Prinzipien heraus kausal bestätigt; die Farbenerscheinungen des Quarzes wurden auf eine kreisförmige, beziehungsweise elliptische Polarisation zurückgeführt; die ungewöhnliche Reflexion des Lichtes von Metallen erwies sich nach Brewster und Airy ebenfalls als eine besondere Art des Polarisationsprozesses. An dieser Stelle griff, nachdem sich bis dahin sein Vaterland sehr neutral im Kampfe der durch die optischen Entdeckungen erregten Geister verhalten hatte, auch ein Deutscher lebhaft ein, der als Krystallograph uns wohl bekannte Fr. Neumann. Seit 1832 veröffentlichte er eine ganze Reihe einschlägiger Abhandlungen, unter denen diejenige über die elliptische Polarisierung durch Metalle besonderes Aufsehen erregte. Und ein anderer Deutscher trat 1835 mit einer Theorie der farbigen Beugungs-

bilder hervor, die allseitig als abschließend anerkannt wurde. Schwerd in Speier, auch als Geodät ausgezeichnet, entwickelte bei der analytischen Darstellung der Phasen des durch Gitter gebeugten Lichtes ein hohes mathematisches Geschick, aber ebenso bewährte er sich als ein mit den einfachsten Mitteln zum Ziele strebender Erforscher der Natur; eine Vogelfeder, ein blinkender Metallknopf gewährte die Möglichkeit, die schönsten Farbenbilder zu erzeugen. Man darf es ungescheut aussprechen, daß Schwerds Werk ganz beträchtlich dazu beigetragen hat, Vorurteile gegen die Undulationstheorie des Lichtes aus dem Wege zu räumen und dieser namentlich auch die Aufnahme in die didaktische Litteratur zu sichern. Doch darf nicht außer acht gelassen werden, daß schon Fraunhofer in dieser Richtung kräftig vorgearbeitet hatte. Wir haben seiner Untersuchung des Spektrums einen Platz in dem der Astronomie gewidmeten Abschnitte eingeräumt, weil diese Wissenschaft später so großen Nutzen daraus ziehen sollte, aber hier ist hervorzuheben, daß der geniale Optiker auch die sogenannten Beugungsspektren erforschte, indem er das Licht durch ein Maschennetz feinster Linien hindurchgehen ließ, welche auf einer geschwärzten Glasplatte eingeritzt waren (Rußgitter). Gerade diese Versuche machten Fraunhofer zum überzeugten Anhänger der Vibrationstheorie, denn er erfaßte jetzt auch die bisher unerreichbar scheinende Möglichkeit, Lichtwellenlängen direkt zu messen. Indem er dies that, vermochte er den Satz zu beweisen, daß die wenigst brechbaren Lichtstrahlen langwellig sind und um so kurzwelliger werden, je mehr die Ablenkung zunimmt. Der ganz plausible Gedanke Babinets (1794—1872), eine bestimmte Wellenlänge des Sonnenspektrums zur normalen Maßeinheit zu erheben, hat eine praktische Anwendung nicht gefunden.

Fraunhofer trug die von ihm gefundenen Wahrheiten der Beugungstheorie auch in ein ganz neues Gebiet, in die meteorologische Optik, hinein und leitete die sogenannten kleinen Höfe, Lichtringe, welche hie und da die heller leuchtenden Himmelskörper umgeben, aus dem Umstande ab, daß die von dort kommenden Lichtstrahlen durch eine dunstförmige Masse in der Atmosphäre hindurchgehen müssen. Es sei gerade so, sagte er zutreffend, wie

wenn man durch eine mit Bärlappsamen bestreute Glasplatte nach einer Lichtquelle blicke. In anderer Hinsicht verwertete Chr. Doppler in Prag (1803—1853) die Wellenlehre für das Studium der Himmelserscheinungen. Das Dopplersche Prinzip (1842) sagt aus, daß die Länge der Wellen, welche ein bewegter Lichtkörper aussendet, sich vermehrt oder vermindert, je nachdem jener sich von dem Beobachter entfernt oder sich ihm nähert. Man wird sehen, daß dieses Prinzip in der Physik der Gestirne eine wichtige Rolle zu spielen berufen war. Für jetzt hielt sich die Diskussion noch in ziemlich engen Grenzen, aber immerhin zeigte der Niederländer Buys Ballot (1817—1891), daß es auch ein akustisches Gegenstück zu der erwähnten optischen Erscheinung giebt. Achtet man mit musikalisch geübtem Ohre auf den Pfiff einer rasch herannahenden Lokomotive, so erkennt man, daß der schrille Ton immer höher wird, während umgekehrt eine Abnahme der Höhe eintritt, wenn der Dampfwagen sich entfernt. Im ersten Falle werden eben die Luftwellen verkürzt, und im zweiten werden sie verlängert.

Vielleicht den höchsten Triumph feierte jedoch die physikalische Optik, als Hamilton, der große Mathematiker, im Jahre 1832 die theoretische Notwendigkeit einer unter gewissen Fällen eintretenden konischen Strahlenbrechung erschloß. Die Fresnelsche Wellenfläche besitzt keine stetige Krümmung, sondern es befinden sich auf ihr einspringende Punkte, nach innen gerichtete Spitzen. Wenn nun ein Strahl, so folgerte Hamilton aus seinem Quaternionenkalkül, gerade einen solchen Unstetigkeitspunkt trifft, so geht er in ein von letzterem als Scheitel auslaufendes, kegelförmiges Strahlenbündel über. J. Mac Cullagh (1809—1847) hat sodann die Bedingungen dieses Strahlenaustrittes noch mehr im einzelnen präzisiert. Im gleichen Jahre 1832 aber führte H. Lloyd (1800—1881), Hamiltons irischer Landsmann, den experimentellen Nachweis, daß auf einer weißen Fläche, auf welche die betreffenden Strahlen fallen, ein heller Lichtring entsteht, der Durchschnitt des fraglichen Kegels mit der Projektionsebene.

Wir verweilten bisher absichtlich bei den entweder ganz neuen oder doch noch weniger erforschten Lichterscheinungen, welche der

Vibrationstheorie den endgiltigen Sieg sicherten. Das meiste Interesse der ersten Jahrzehnte konzentrierte sich eben auch auf diesen Siegeszug eines vor kurzem noch wenig beachteten Gedankens, dessen Tragweite sich sehr bald nicht nur auf die Optik allein erstrecken sollte. Die übrigen optischen Fortschritte waren denn auch keine allzu bedeutenden. Erwähnung verdient das 1827 von W. Ritchie (gest. 1837) angegebene Photometer, welches für terrestrische Lichtquellen demjenigen von Lambert, das man bisher vorzugsweise gebraucht hatte, mit Vorteil substituiert werden konnte. Die Photometrie der Gestirne, die eben auch damals ihren Anfang nahm, soll später, im astrophysikalischen Abschnitte, zusammenhängend gewürdigt werden. Erst gegen das Ende des uns jetzt beschäftigenden Zeitraumes mehrten sich wieder bedeutendere Leistungen, welche keine direkte Beeinflussung durch die neuen Anschauungen über die Natur des Lichtes erkennen lassen. Gauß trug, wie das stets seine Art war, ein neues Ferment in die analytische Dioptrik hinein, indem er für nahezu achsiale Strahlen, jedoch ohne Vernachlässigung der Linsendicken, den Gang der Lichtstrahlen durch ein zentriertes Linsensystem untersuchte und die unübersichtlichen Formeln, welche einstweilen noch diesen Teil der Optik beherrschten, durch die Einführung des Begriffes der Hauptpunkte wesentlich vereinfachte; als Listing dann, indem er speziell den Durchgang des Lichtes durch das Auge verfolgte, den Hauptpunkten noch die Knotenpunkte hinzufügte, wurde es möglich gemacht, die Bahn des gebrochenen Strahles ganz einfachen geometrischen Konstruktionen zu unterwerfen. Listings Studie (1845) stand bereits bewußt im Dienste einer neuen Grenzdisziplin, die sich eben damals herauszubilden begann, der physiologischen Optik. Ihr gehörten an die Arbeiten von Seebeck über menschlichen Farbensinn, von Plateau und Arago über die auf eine Netzhautreizung zurückgeführte Irradiation, von Wheatstone und Brewster über die Stereoskopie und das plastische, binokulare Sehen, welche im letzteren Falle zur Erfindung des bekannten Instrumentes verhalfen. Nicht minder ist hier zu gedenken der Arbeiten L. Mosers (1805—1880) über den Prozeß des Sehens; in ihnen begegnet uns erstmalig eine anscheinend paradoxe Wort-

bildung, die dann zunächst vergessen wurde, in unseren Tagen aber neues Leben empfing. Der Königsberger Physiker behauptete nämlich, es gebe neben dem gewöhnlichen auch unsichtbares Licht; er legte eine Münze auf eine Glastafel, hauchte sie an und nahm sie fort; auf dem Glase zeigte sich ein Bild der Münze, und es wurde hieraus geschlossen, daß das Licht, gerade wie die Wärme, im Inneren des Körpers latent vorhanden sein und für gewöhnlich unserem Sehorgane ebenso verborgen bleiben müsse, wie dies bei den ultravioletten Strahlen des Spektrums wegen deren allzu geringer Wellenlänge der Fall sei. Die Frage wirbelte viel Staub auf, aber die von R. Hunt (1807—1887), E. Knorr (geb. 1805), Fizeau und zuletzt ganz besonders durch Waidele genährte Opposition gewann bald Oberwasser, und zumal des letztgenannten anspruchslose Deutung des mysteriösen Vorganges ließ denselben als einfache Konsequenz bekannter Thatsachen erscheinen. Indem er mittelst geglühter Holzkohle jede Luftschicht von der Platte entfernte, beseitigte er auch die Hauchbilder, die sonach nur in der Atmosphäre, welche die Bildplatte bedeckte, ihren Grund haben konnten. G. Karsten (1820—1900) beschäftigte sich um diese Zeit vielfach mit den sehr interessanten, von ihm bemerkten elektrischen Abbildungen, die aber nach anderer Ansicht ohne eigentliche Mitwirkung der Elektrizität, und zwar in ganz ähnlicher Weise, wie die Moserschen Bilder, zustande kommen.

Gewisse Teile der Optik, welche in ihren Anfangsstadien in unsere gegenwärtige Periode zurückreichen, haben in der nächstfolgenden einen derartigen Aufschwung genommen, daß wir besser thun werden, sie hier einstweilen noch zurückzustellen und später im Zusammenhange zu behandeln. Dahin gehören alle die Erscheinungen, welche durch die Absorption des Lichtes bedingt erscheinen, so insbesondere Phosphoreszenz und Fluoreszenz. Dagegen muß der chemischen Lichtwirkung schon an diesem Orte Erwähnung gethan, und ebenso muß die Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit auf nicht-astronomischem Wege nach Verdienst besprochen werden.

Die ersten Spuren dessen, was man nachher Photographie zu nennen gewöhnt ward, weisen auf den Anfang des 18. Jahr-

hunderts zurück; ein deutscher Arzt, J. H. Schultze in Halle a. S., schnitt 1727 in eine Metallplatte eine Schrift ein, legte erstere auf eine mit Silberlösung bestrichene Platte und bemerkte, daß das Sonnenlicht, indem es die Schnittlinien durchdrang, die Lösung zersetzte und die Schrift durch verdunkelte Stellen im Silber sichtbar machte. Man nahm von diesem ersten schüchternen Versuche keine Notiz, und auch die nach einem ähnlichen Prinzipe von J. Wedgewood (1730—1795) und Sir Humphrey Davy (1778—1829) zu Ende des Jahrhunderts angestellten Beobachtungen über die auflösende Thätigkeit des Sonnenlichtes blieben ebenso unbeachtet wie diejenigen des durch seine Luftballons bekannter gewordenen Franzosen J. A. Charles (1746—1823), der auf Chlorsilberpapier Silhouetten entstehen ließ. Die Abbildung beliebiger Gegenstände wagte zuerst der ältere (Nicéphore) Nièpce (1765—1833) vorzunehmen, dessen Neffe (Claude Marie François, 1805—1870) die Glasphotographie erfunden und auch die Reproduktion von Farben im Lichtbilde zuerst als möglich nachgewiesen hat. N. Nièpce fixierte die Bilder einer Camera obscura, indem er sich dabei des Asphaltes bediente, den er in Lavendelöl aufgelöst hatte. Behandelte man die so präparierte, längere Zeit belichtete Platte mit ätherischen Ölen, so erhielt man, wie es damals hieß, ein heliographisches Bild, das dann durch eine anderweite Prozedur möglichst in ein fixes verwandelt wurde. Seit 1829 arbeitete Nièpce zusammen mit L. J. M. Daguerre (1789—1851), und dieser verfeinerte die Kunst, Lichtbilder herzustellen, in verschiedenen Richtungen. Die Daguerrotypie lieferte dauerhafte Bilder, die auch nachher beliebig dem Lichte ausgesetzt werden durften, ohne dadurch gefährdet zu werden. Am 19. August 1839 legte Arago die neue Erfindung der Pariser Akademie vor, welche dem Erfinder bei der Regierung eine lebenslängliche Pension erwirkte. Dessen Hauptverdienst liegt nicht sowohl in den chemischen Manipulationen — Jodsilber wird zersetzt, und auf den Zersetzungsstellen schlagen sich Quecksilberdämpfe nieder —, sondern darin, daß Daguerre die früher sehr lange Expositionsdauer thunlichst beschränkte und den zunächst noch unsichtbar gebliebenen Lichteindruck erst nachträglich durch die Entwicklung hervorrief und fixierte. Genau

gleichzeitig entdeckte W. H. F. Talbot (1800—1877), der seine Bilder selbst zuerst als photogenische und hierauf als photographische bezeichnete, während seine britischen Landsleute noch lange von Talbotypie sprachen, einen chemischen Stoff, der eine bequemere Abbildung auf Papier ermöglichte; letzteres wurde mit Chlorsilber und salpetersaurem Silberoxyd getränkt, und indem Licht darauf fiel, entstand ein weißes Bild auf schwarzem Grunde, ein Negativ, welches fixiert und, mit gleich zugerichtetem Papiere bedeckt, wiederum der Insolation ausgesetzt wurde. Was zuvor schwarz war, wurde nun hell, und umgekehrt, so daß man jetzt ein Positivbild bekam. Ein ungemein großer Fortschritt war auch darin gelegen, daß man das Negativ mehrmals benützen konnte; die Photographie ging damit, nachdem sie bislang nur eine physikalische Kuriosität gewesen war, in die Reihe der reproduzierenden Künste über. Zumal als noch 1851 von Fry und Archer mit bestem Erfolge das Kollodium, eine alkoholische Lösung der Schießbaumwolle, mit den verschiedenen Salzen imprägniert und als Überzug der lichtempfindlichen Platte verwendet wurde, konnte sich die Kunst, Lichtbilder anzufertigen, zu jenem großartigen Siegeszuge anschicken, dessen Zeugen wir alle geworden sind.

Die Geschwindigkeit, mit welcher sich das Licht fortpflanzt, war zuerst von O. Roemer gegen Ende des 17. Jahrhunderts mit schon ziemlich großer Schärfe bestimmt worden, indem derselbe die Zeiten verglich, um welche sich, je nach der Stellung der Erde zu diesem Planeten, die Eintritte der Trabanten des Jupiter in dessen Schatten gegen die vorausberechneten Termine verfrühten oder verspäteten. Man war überzeugt, daß diese Größe nur durch Beobachtungen im Weltraume zu ermitteln sei, weil terrestische Entfernungen einer so ungeheuren Schnelligkeit gegenüber doch als gar zu winzig angesehen werden müßten; Delambre fand aus 1000 Verfinsterungen des ersten Jupitermondes 493 Sekunden, W. v. Struve (1843) aus den Aberrationserscheinungen 498 Sekunden als die Zeit, welche das Licht zur Zurücklegung des Weges von der Sonne zur Erde bedarf. Erst 1838 dachte Arago daran, mit Hilfe eines rotierenden Spiegels die Fortpflanzungskonstante direkt, ohne Befragung des Himmels, zu bestimmen, und

Foucault führte 1850 gelungene Versuche in diesem Sinne wirklich aus, indem er — etwas zu klein — einen Wert von 40345 geogr. Meilen fand. Noch näher kamen die ein Jahr vorher von H. Fizeau (geb. 1819) angestellten Messungen dem astronomischen Resultate. Ein von einem Planspiegel reflektierter Lichtstrahl ging durch die Lücke eines mit seiner Ebene auf der Strahlenrichtung senkrecht stehenden Zahnrades nach einem zweiten Planspiegel, der in der Distanz mehrerer Kilometer gleichfalls senkrecht aufgestellt war, so daß der zweimal und der einmal gespiegelte Strahl vollständig zusammenfielen und im Auge des Beobachters den Eindruck eines Lichtpunktes erzeugten. Dieser blieb auch eine Zeitlang sichtbar, nachdem man das Rad in immer rascher werdende Umdrehung versetzt hatte; dann aber verschwand er, weil jetzt der rückkehrende Strahl auf einen Zahn — statt, wie vordem, auf eine Lücke — getroffen war. Da man die vom Lichte durchmessene Entfernung, die Breite einer Zahnradöffnung und die Umdrehungsgeschwindigkeit des Rades kennt, so hat man alle Daten zur Berechnung der gesuchten Konstante, welche Fizeaus Untersuchung auf 42200 geogr. Meilen fixierte. Dieser Wert stimmt vorzüglich zu demjenigen, den man gewinnt, wenn man die neuesten Bestimmungen der Sonnenparallaxe zu Grunde legt. Fizeau gab auch eine befriedigende Erklärung für ein von G. G. Stokes (geb. 1819) hervorgehobenes, zwischen ihm und seinem Cambridger Kollegen Challis eifrig diskutiertes Bedenken gegen die hergebrachte Aberrationstheorie Bradleys. Er zeigte, daß der in Gasen befindliche Lichtäther sich gegen den Bewegungszustand dieser Gase ganz und gar indifferent verhält, so daß also das in unsere Atmosphäre eindringende Sternenlicht nur gerade die Ablenkung von seiner normalen Bewegung erfährt, welche angesichts des Fortschreitens der Erde im Raume unausbleiblich ist.

Wer eine Geschichte der Naturwissenschaft im 19. Jahrhundert schreibt, kann nicht umhin, auch auf die Seitenpfade einen Blick zu werfen, auf welchen dann und wann ein vereinzelter Wanderer sich bewegte. Nicht immer wird ja ein solcher Anspruch darauf erheben dürfen, daß man ihn berücksichtige; wissenschaftliche Sonderbarkeiten bleiben im allgemeinen besser von einer nur die großen

und bedeutsamen Momente aufzählenden Gesamtdarstellung ausgeschlossen. Allein die Persönlichkeit kann es gebieterisch fordern, daß ihr auch der ihr Recht angedeihen lasse, der selbst auf einem ganz anderen Standpunkte steht, und so wäre denn auch unsere Übersicht unvollständig, gedächte sie nicht jener Arbeiten, welche Johann Wolfgang Goethe zu wiederholten malen („Beiträge zur Optik", Weimar 1791—1792; „Farbenlehre", Tübingen 1810; „Nachträge zur Farbenlehre", im letzten Bande der gesammelten Werke) der Optik gewidmet hat. Als entschiedener, bis zu widriger persönlicher Polemik sich versteigender Gegner Newtons hat der große Dichter und Denker die unbeliebten „Empiriker" gröblich herausgefordert, und er durfte sich mithin kaum darüber beklagen, daß auch diese seine physikalischen Versuche teils totschwiegen, teils in herbsten Worten kritisierten. Ist es ihm doch in seiner Voreingenommenheit nicht einmal gelungen, das fundamentale Experiment Newtons, welches zur Entdeckung des Farbenspektrums führte, richtig aufzufassen! Er meinte, beim bloßen Durchsehen durch ein Glasprisma sofort reine Farbenbilder erkennen zu müssen, und konnte sich heftig erzürnen über die wichtige Rolle, welche der große englische Naturforscher dem „foramen exiguum" im Fensterladen und dem durch dieses in das verdunkelte Zimmer fallenden, schmalen Lichtbündel zugeteilt hatte. Mit der Zeit haben jedoch auch die Physiker milder und gerechter denken gelernt, je mehr sie sich in das Studium der Originalschriften vertieften; eine schließlich lohnende, aber freilich für den an exakte Schlußfolgerung Gewöhnten nicht durchweg erfreuliche Aufgabe. Helmholtz, du Bois-Reymond, mit der meisten Hingebung neuestens W. Koenig haben sich dieser Pflicht unterzogen. Man hat gemeint, Goethe habe sich an den Unbegreiflichkeiten der Emissionshypothese gestoßen und wäre wohl zu einer anderen Ansicht gelangt, hätte er gewußt, daß das Licht eine Folge von Ätherschwingungen sei; diese Unterstellung ist aber ganz unhistorisch, denn auf die Frage, wie denn die Farben in der Natur entständen, hätte die Undulationstheorie, die dem Dichter keineswegs unbekannt war, ihm auch keine Antwort gegeben, wie er sie haben wollte. Seine Unzufriedenheit bestand eben darin, daß es ihm unmöglich fiel,

die Färbungen, von denen er sich, an Gewändern, Gewächsen, am Himmel und auf der Erde, rings umgeben sah, als eine Konsequenz der Newtonschen Farbenlehre zu begreifen. Als feiner Ästhetiker hatte er das Wesen der Kontrastfarben richtig erfaßt, lange vor M. E. Chevreul (1786—1889!), der erst viel später eine natürlich unter dem wissenschaftlichen Gesichtspunkte weit höher zu stellende Schrift (Straßburg 1839) hierüber publiziert hat. Goethe wußte recht gut, daß Grün im Kontraste zu Rot, Gelb im Kontraste zu Blau steht, und indem er dieses Verhältnis zur Grundlage für seine eigene Anschauung machte, kam er bereits der von dem Physiologen E. Hering (geb. 1834) aufgestellten, später zu würdigenden Farbentheorie ziemlich nahe. In unbewußtem Anschlusse an den großen Maler und Forscher Lionardo da Vinci, der in seiner Abhandlung über die Kunst des Malens von ähnlichen Vorstellungen ausgegangen war, setzte er Gelb und Blau als Grundfarben voraus und dachte sich alle Farbenmischungen dadurch gebildet, daß der Beschauer jene Farben nicht immer direkt, sondern durch ein trübes Mittel hindurch erblicke. So legte er sich insbesondere die Lichterscheinungen der Morgen- und Abendröte zurecht. Analysiert man so mit W. Koenig (geb. 1859) die einzelnen Behauptungen Goethes, so konstatiert man neben manch schiefen Deutungen und Mißverständnissen doch auch überraschend viele Anklänge an moderne Entdeckungen, so beispielsweise an Lord J. W. S. Rayleighs Erklärung der Himmelsbläue, und vor allem sagt man sich los von der landläufigen, aus der Zeit berechtigter Reaktion gegen die Naturphilosophie stammenden Mißachtung von Arbeiten, in denen angeblich kein Funke sonstigen Goetheschen Geistes zu finden wäre. Es kommt hinzu, daß der geschichtliche Teil der „Farbenlehre" ein erstaunlich reichhaltiges, mühsam zu beschaffendes Material geschickt verarbeitet und dem Geschichtschreiber der Physik unentbehrlich ist. Unter den zahlreichen treffenden Bemerkungen, welche die exzerpierten Bücher und Aufsätze begleiten, finden sich unter anderen die ersten selbständigen Angaben über das sogenannte Fluoreszieren der Körper.

Beurteilen wir so von der höheren Warte aus, auf welche uns eine umfassendere Betrachtung der geistigen Bewegungen im

ersten Halbscheid des Jahrhunderts gestellt hat, die optischen Bestrebungen Goethes, die diesen Jahre lang mit Beschlag belegt und von anderen Beschäftigungen abgezogen haben, so wird uns zweierlei klar. Einmal, daß die Experimentalphysik jener Zeit, die eben erst wieder festen Boden unter die Füße bekommen hatte, wenig erbaut sein konnte von einem Ansturme gegen ihre festesten Stützen, und von einer Gedankenwelt, welche feinsinnige Beobachtung mit phantastischer Spekulation durcheinandermengte. Dann aber auch, daß gerade jene Freunde der Philosophie, denen die vermeintlich poesie- und saftlose Empirik ihre Zirkel störte, dem Dichter zujubelten, wie denn ein Schüler Hegels über die Goethesche Farbenlehre sogar eine eigene Universitätsvorlesung veranstaltete. Der objektiver gerichteten Gegenwart war es vorbehalten, Licht und Schatten gleichmäßiger zu verteilen. Nicht unerwähnt darf ferner bleiben, daß ein wenig später ein besonders geistvoller, aber ebenfalls mit der offiziellen Wissenschaft seiner Tage gründlichst zerfallener Denker eine neue Theorie des Sehaktes und der Farben aufstellte. Sind Arthur Schopenhauers (1788—1860) Darlegungen auch nicht geeignet, die Physik auf eine wirklich neue Bahn zu leiten, so sind sie doch zumal für die physiologische Optik durchaus nicht wertlos; sonst hätte ihnen der Augenarzt Radius nicht einen Platz in seinen „Scriptores ophthalmologici minores“ (Leipzig 1830) eingeräumt. Unter keinen Umständen darf an Goethe und Schopenhauer deshalb achtlos vorübergegangen werden, weil ihre Abneigung gegen das, was ihnen als „Zunftwissenschaft“ erschien, mitunter etwas unliebenswürdigere Formen annahm, als gerade notwendig gewesen wäre.

Die Lehre vom Lichte haben wir nun bis zu jenen Jahren gefördert, während deren sich eine Umwälzung in den physikalischen Grundvorstellungen anbahnte, und ein gleiches wollen wir nunmehr mit der Kalorik, der Lehre von den Wärmeerscheinungen, thun. Unsere einleitende Übersicht stellte bereits fest, daß durch Rumford, Leslie, Davy das alte Dogma vom unwägbaren Wärmestoffe schon einigermaßen erschüttert war, als das neue Jahrhundert anbrach, aber die Mehrzahl der Gelehrten erklärte sich noch mit der Definition einverstanden, welche der gewiß fort-

schrittlich gesinnte Lavoisier 1789 vom Kalorikum, als einer „außerordentlich elastischen Flüssigkeit“, gegeben hatte. Der jüngere Tobias Mayer (1752—1830), der noch 1786 eine Schrift über den Wärmestoff geschrieben hatte, erörterte bald nach 1800 die Streitfrage, ob die Aktion einer „peculiaris materia calorifica“ das Ganze der thermischen Phänomene am besten darstelle, oder ob eine „dynamische“ Erklärung zulässig sei — man gewährte der letzteren also doch schon ein gewisses Bürgerrecht in der Naturlehre. Vorab die Thatsache, daß jede Substanz ihre spezifische Wärme besitzt, eine von Mayer im Jahre 1798 durch eine größere Versuchsreihe unzweifelhaft erwiesene Thatsache, schien das Kalorikum zu fordern, denn je nachdem ein Körper eine größere oder geringere Menge dieses feinen Stoffes in sich aufzunehmen vermochte, bekundete er seine besondere Wärme-Koërzitivkraft. Durch die ebenfalls eingangs erwähnten Untersuchungen über das Wärmespektrum (1800) schien nun aber eine vollkommene Analogie zwischen Licht- und Wärmestrahlen evident gemacht zu sein, und M. A. Pictet (1752—1825) und J. Leslie begannen die strahlende Wärme — die Bezeichnung rührt von dem Chemiker Scheele her — wesentlich nach denselben Regeln zu untersuchen, die sich in der Optik bewährt hatten. Das Lesliesche Differentialthermometer und der Lesliesche Würfel wurden, ganz ohne Rücksicht auf die nicht einwandfreien theoretischen Ansichten ihres Urhebers, wertvolle Bereicherungen des physikalischen Armariums. Letzterer war, wie der Name besagt, ein einfacher Hohlwürfel, dessen vier vertikal stehende Seitenflächen jedoch möglichst verschieden sein mußten, um auch entsprechend verschiedene Ausstrahlungsverhältnisse darzubieten. Eine Fläche war poliertes, eine zweite berußtes Metall; die dritte trug einen Überzug von Papier, die vierte einen solchen von Glas. Das Innere wurde gefüllt mit Wasser, dessen Temperatur ein eingesenktes Thermometer ablesen ließ. So konnte Leslie angenähert bestimmen, wie sich das Ausstrahlungsvermögen irgend einer Substanz zu dem einer anderen Substanz verhielt. Er hielt sich überzeugt, daß das, was man den Strahlungsvorgang nennt, auf Undulationen zurückzuführen sei, aber er versah sich darin, daß er die gewöhnliche Luft —

und nicht den Äther — als Träger eben dieser Schwingungen ansah. Bestimmter erkannte Rumford die intimen Beziehungen zwischen Licht und strahlender Wärme, ohne doch den ihn beseelenden Reformideen zu allseitigerer Anerkennung verhelfen zu können.

Während die Theorie zunächst noch mit großen Hemmnissen zu ringen hatte, machte die Wärmelehre auf anderen Gebieten um so raschere Fortschritte. Die Thermometrie hatte die verschiedenen Formen der Ausdehnung nutzbar zu machen gelernt, und nachdem man für eine ganze Anzahl fester Körper die Ausdehnungskoëffizienten genau zu ermitteln gelernt hatte, indem man unter anderen die von Laplace und Lavoisier verwendete Methode entsprechend ausdehnte, ging man darauf aus, diese Konstante auch für Gase zu bestimmen. Gay-Lussac und Dalton fanden, annähernd gleichzeitig im neuen Jahrhundert, daß sämtliche Gase sich bei gleicher Temperaturzunahme um gleichviel ausdehnen. Der Ausdehnungskoëffizient α der Gase ist somit eine konstante Zahl, und das Produkt aus Druck und Volumen in dem bekannten Ausdruck des Mariotteschen Gesetzes muß noch mit dem Faktor $(1 + \alpha t)$ multipliziert werden (t Temperaturzunahme), um das auch den Wärmeänderungen Rechnung tragende Gesetz von Mariotte und Gay-Lussac zu erhalten. Später hat der letztere auch tropfbare Flüssigkeiten in diesem Sinne untersucht, und ihm sind 1818 zwei um die Wärmelehre hoch verdiente Physiker nachgefolgt, P. L. Dulong und A. T. Petit (1791 bis 1820). Es ergab sich, daß die Ausdehnung der in diesem Aggregatzustande verharrenden Körper eine weit verwickeltere Sache ist, als bei den beiden anderen Zuständen, und Daltons Meinung, daß doch ein ganz bestimmtes Gesetz auch hier das Verhalten regle, hat sich nicht bewahrheitet. Es wächst zwar, wie sich von selbst versteht, die Ausdehnung mit der Temperatur, aber die verschiedenen Flüssigkeiten lassen darin keine Übereinstimmung erkennen. In manchen Fällen machen sich dann noch, wie beim Wasser in der Nähe des Konzentrationsmaximums, Anomalien geltend. Die älteren Untersuchungen darüber mußten ungenau ausfallen, weil man auf die Ausdehnung des Glases keine Rücksicht genommen

hatte, und erst nach und nach vergewisserte man sich, wie schon bemerkt, daß die größte Dichtigkeit bei $+4^0$ des hundertteiligen Thermometers erreicht wird.

Nicht immer hat die mathematische Betrachtung physikalischer Lehren die letzteren direkt gefördert, denn es ist, wie Daniel Bernoulli um die Mitte des 18. Jahrhunderts klar einsah, zum öfteren vorgekommen, daß man die Anwendung bloß deshalb suchte, um irgend ein neues analytisches Rüstzeug in seiner Kraft zu erproben. Auf Fouriers „Théorie analytique de la chaleur" (Paris 1822) trifft dies aber gewiß nicht zu, denn dieses Werk, dessen Bedeutung für die Entwicklung neuer Theorien schon früher gewürdigt wurde, hat gewisse Grundwahrheiten der Lehre von der Wärmeleitung, die bisher mißbräuchlicher Auslegung sehr stark ausgesetzt gewesen war, für alle Zeiten festgestellt. Wärmefortpflanzung kann nur erfolgen in Gemäßheit eines Temperaturgefälles; der Wärmestrom, den sich Fourier als Träger der kalorischen Erscheinungen dachte, kann nur von einem höher temperierten zu einem niedriger temperierten Körper übergehen. Die Wärmekapazität, die innere und äußere Leitungsfähigkeit bestimmen die Art dieser Fortpflanzung. Für diese drei Eigenschaften wurden unzweideutige Definitionen gegeben, die einstweilen genügten, wenn sich auch die Konstanz des inneren Leitungsvermögens nicht als eine absolute bewährt hat. Auch der Ausstrahlungsprozeß, den man zwar kannte, unter dem man sich jedoch nichts völlig Konkretes vorgestellt hatte, wurde geklärt. Eine neue Versuchsreihe der beiden enge verbundenen Freunde Dulong und Petit gab auch die ersten Anhaltspunkte zur numerischen Bewertung dieses Prozesses, den Newton durch sein Erkaltungsgesetz nur sehr näherungsweise darzustellen gelehrt hatte. Aber damit war die Bedeutung dieser Experimente nicht erschöpft, denn es ließ sich aus ihnen noch eine weitere, für die physikalische Chemie höchst fruchtbare Schlußfolgerung ziehen: Das Produkt aus der spezifischen Wärme (Wärmekapazität) und dem Molekulargewichte eines Stoffes ist konstant. Diese Thatsache wurde von Fr. Neumann und von Regnault bestätigt und diente insbesondere auch dazu, eine andere chemisch-physikalische

Elementarwahrheit, in deren Besitze man sich bereits befand, in einem ganz neuen Lichte erscheinen zu lassen.

Schon 1811 nämlich hatte Graf Amedeo Avogadro (1776 bis 1856) eine molekulartheoretische Spekulation, die aber auf gesunder experimentaler Grundlage beruhte, bekannt gemacht. Er dachte sich die gasförmigen Körper aus Molekülen zusammengesetzt, deren Anordnung er für eine Funktion sowohl des Druckes als auch der Temperatur erklärte; wenn also zwei Gasvolumina gleich waren, während sie unter gleichem Drucke und unter gleicher Temperatur standen, so blieb nur übrig, zu glauben, daß auch in einem jeden Volumen, wie auch im übrigen die Natur des Gases oder Dampfes sein möge, die gleiche Anzahl von Molekülen enthalten sein müsse. Es war diesem Satze zu entnehmen, daß sich die Dampfdichten zweier Körper zu einander wie deren Molekulargewichte verhalten. Die beiden Gesetze von Dulong-Petit und Avogadro aber reichen sich offensichtlich die Hand. Auch war man jetzt in der Lage, eine Nachprüfung eintreten lassen zu können, indem Delaroche, von dessen Lebensumständen so gut wie gar nichts sicheres verlautet, und J. E. Bérard (1789—1869) im Jahre 1813 eine umfassende Tafel der spezifischen Wärmen verschiedener Gase der Öffentlichkeit übergeben hatten; das Institut hatte die Arbeit mit einem Preise gekrönt. Die daran geknüpfte Mutmaßung mehrerer Physiker, daß den Gasen bei gleichem Volumen auch eine gleiche Wärmekapazität zuzuschreiben sei, hat vor den eingehenden Versuchen, die Regnault 1840 nach einem wesentlich gleichen Verfahren anstellte, nicht standhalten können. Nur für Wasserstoff trifft sie vollinhaltlich, für einige andere Elemente angenähert zu; man darf in ihr demgemäß ein Gesetz für ideale Gase erblicken, die wir mit unseren Mitteln nicht zu erzeugen befähigt sind, denen sich aber das so ungemein leichte Wasserstoffgas wenigstens in hohem Maße nähert.

Der Begriff der spezifischen Wärme schien allerdings schon in den ersten Dezennien dem eisernen Bestande der Physik einverleibt zu sein, allein es fehlte doch noch eine sehr wichtige Zusatzbestimmung. Zunächst war nämlich der betreffende Wert für Gase ermittelt worden, welche unter konstantem Drucke standen, sich aber

unbehindert ausdehnen konnten. Wie aber stellte sich die Sache, wenn das Gas auf gleich bleibendem Volumen erhalten wurde? Seit Dalton war bekannt, daß bei jeder Ausdehnung eines gasförmigen Körpers ein Wärmeverlust zu konstatieren ist, den man auch gelegentlich benützt hatte, um niedrige Temperaturen hervorzubringen, wogegen eine Kompression, wie dies später die bedeutsamsten Erörterungen bewirkte, mit einer Temperatursteigerung verbunden war. Gay-Lussac und J. J. Welter (1763—1852) traten an die Aufgabe heran, die Konstante k numerisch festzustellen, welche das Verhältnis der spezifischen Wärme bei konstantem Drucke zur spezifischen Wärme bei konstantem Volumen darstellt, und Desormes (1777—1862) und Clément, dessen wir oben zu gedenken hatten, verfeinerten diese Versuche noch erheblich. Nachdem man die Größe k ungefähr gleich 1,3 ... gefunden hatte, sah man sich auch in den Stand gesetzt, eine Schwierigkeit zu beseitigen, die den Physikern viel Kopfzerbrechen bereitet hatte. Wir wissen, daß Newton für die Schallgeschwindigkeit einen Ausdruck gegeben hatte, der, ohne daß sich darin ein Fehler erkennen ließ, doch für die durch Versuche genau ausgemittelte Schallkonstante einen zu kleinen Wert lieferte. Nun machte Laplace darauf aufmerksam, daß Newton die Temperatur der durchmessenen Luftschicht als unveränderlich vorausgesetzt hatte, und dies konnte doch nicht zutreffen, wenn in der Luft, wie es bei Schallimpulsen der Fall ist, Kompressionen und Dilatationen miteinander abwechselten. Multiplizierte man aber den unter der Wurzel stehenden Newtonschen Ausdruck mit obigem k, so war dem wirklichen Sachverhalte Rechnung getragen, und indem er dies that, gelangte Laplace auch zu einer mit den empirischen Ergebnissen sehr gut übereinstimmenden Zahl.

Ziemlich isoliert stehen in der neueren Wärmelehre die Untersuchungen zweier italienischer Physiker über strahlende Wärme da. Es wurde ausgeführt, daß der ältere Herschel die thermischen Leistungen der einzelnen Teile des Sonnenspektrums genau geprüft hatte, und T. J. Seebeck (1770—1831) ergänzte diese Prüfung des Spektrums durch eine zweite Experimentalstudie, durch welche auch der nicht unbeträchtliche Einfluß der Glassorte auf die

einer gegebenen Spektralstelle zukommende Wärmeentwicklung klargestellt wurde. Allein noch fehlte es an einem Apparate, welcher derartige feinere Temperaturmessungen mit der zu wünschenden Präzision vorzunehmen erlaubte. Da erfand L. Nobili (1784 bis 1835) den Thermomultiplikator, ein Instrument, welches die feinsten Ausschläge einer Magnetnadel erkennen ließ, wenn man den elektrischen Strom auslöste, der sich, wie wir bald sehen werden, stets dann einstellt, wenn die Lötstelle zweier zusammengeschweißter Metallstücke auch nur minimal erwärmt wird. Dieses „elektrische Thermoskop", wie es sein Erfinder auch benannte, leistete Großes in der Hand M. Mellonis (1798—1854), des Begründers eines späterhin ungemein bekannt gewordenen physikalisch-meteorologischen Observatoriums am Vesuv. Melloni wies u. a. mit diesem Instrumente nach, daß das Mondlicht, wenn man es zuvor in Spiegeln oder Linsen sammelt, doch eine gewisse Wärmewirkung ausübt, was dann Lord Rosse mit seinen astronomischen Machtmitteln noch sicherer konstatieren konnte. Im Jahre 1833 aber wurde die Entdeckung gemacht, daß jene Verschluckung, die sich das Licht beim Passieren durchsichtiger Körper gefallen lassen muß, auch der Wärme nicht erspart bleibt. Die Diathermansie der verschiedenen Stoffe ist eine überaus verschiedene; Steinsalz z. B. ist fast vollkommen diatherman, wogegen Wasser nur etwa zehn Prozent der auffallenden Wärmestrahlen durchläßt; die übrigen neunzig werden zurückbehalten und dienen zur Erhöhung der Temperatur. Auch die Luft war die Meteorologie anfänglich als ganz durchlässig für Wärme anzusprechen geneigt, und in Wirklichkeit werden ja auch die dem Boden nächst anliegenden Luftschichten nicht direkt von den hindurchgehenden Sonnenstrahlen, sondern erst dadurch erwärmt, daß letztere in die Erde eindringen und diese erwärmen, worauf dann durch Leitung auch die Atmosphäre in Mitleidenschaft gezogen wird. Von Melloni und seinem deutschen Verbündeten K. H. Knoblauch (1820—1895), der ein langes, wissenschaftliches Leben hauptsächlich an die Erforschung der Eigenschaften des Radiationsprozesses setzte, wurde dargethan, daß die aus der Optik bekannten Gesetze der Brechung und Zurückwerfung auch für strahlende Wärme gelten, und durch Bérard, Forbes und

Melloni wurde der Identitätsnachweis auch auf die verschiedenen Formen der Polarisation ausgedehnt. Die Doppelbrechung und Beugung behandelte hinwiederum Knoblauch. Es leuchtet an sich ein, daß diese neuen Aufschlüsse Denen wirksamsten Vorschub leisteten, welche für die grundsätzliche Einheit von Licht und Wärme eintraten und darin lediglich abweichende Bethätigungen des gleichen Schwingungszustandes erblickten. Es war vor allem der geniale A. M. Ampère (1775—1836), der ein Jahr vor seinem Tode eine Abhandlung dieses Inhaltes veröffentlichte. Die damals den Chemikern geläufig gewordene Unterscheidung zwischen Atomen und Molekülen vermeinte er physikalisch in der Weise verwerten zu können, daß er das Licht mit Molekularschwingungen, dagegen die Wärme mit Atomschwingungen innerhalb der Moleküle in Verbindung brachte.

Es gäbe gerade aus dem weiten Gebiete der kalorischen Erscheinungen freilich noch Vieles zu berichten, aber wir brechen gleichwohl hier ab, weil wir es für ratsam erachten, alle diejenigen Bestrebungen, welche einen energetischen Charakter an sich tragen, einstweilen noch unerörtert zu lassen. Gerade in dem Zeitabschnitte, dem alles bisher beigebrachte Material angehört, bereitet sich ja die reformatorische Erkenntnis vor, daß Wärme und Bewegung unzertrennliche, wechselseitig ineinander überzuführende Erscheinungen sind. Die Gesamtheit der einschlägigen Arbeiten muß also auch unter einem einheitlichen Gesichtspunkte zusammengefaßt werden, und da dies in Bälde geschehen wird, so thun wir am besten, uns jetzt gleich den nicht minder bahnbrechenden Neuerungen auf dem Gebiete der Elektrizitätslehre zuzuwenden.

Anfänglich erging es derselben, wie es ja auch nur allzu verständlich ist, ganz ebenso wie der Lehre von der Wärme; ohne die Hypothese einer unwägbaren — und zwar doppelten — Flüssigkeit schien sich nicht auskommen zu lassen. Sowohl die Reibungs- wie auch die Berührungselektrizität beruhigten sich bei der Annahme, daß in den kleinsten Teilen der Körper jeweils gleiche Mengen der seit Lichtenberg — vergleiche die Einleitung — als positiv und negativ bekannten elektrischen Flüssigkeiten in gänzlich neutralem Zustande vereinigt seien. Kam dann über

diesen Körper, der als unelektrisch erschien, eine elektrische Erregung, so wurden die Fluida geschieden; die eine Hälfte des sphärischen Atoms war positiv, die andere negativ elektrisch geworden, und überdies lagen die Ebenen, welche beide Halbkugeln trennten, sämtlich parallel; damit war die Polarität und damit war ferner auch die Thatsache erklärt, daß Gleichartiges sich abstößt, Ungleichartiges sich anzieht. Der Magnetismus sollte wesentlich nach demselben Prinzipe anschaulich gemacht werden, und zwar hatte das beginnende 19. Jahrhundert noch keinen erfahrungsmäßigen Anhalt dafür gewonnen, daß etwa die elektrischen und magnetischen Imponderabilien identisch seien. Auch noch später herrschten über diesen Punkt Zweifel, und als dem Lichtäther gleichwertig wagte man diese „ätherischen Flüssigkeiten", wie sich C. H. Pfaff in Kiel (1773—1852) ausdrückte, ebenfalls nicht hinzustellen.

Die Voltasche Säule, mit welcher deren Erfinder bereits sehr kräftige elektrische Spannungen zu erzielen wußte, war zu Anbeginn entweder um ihrer selbst willen studiert oder aber, wie dies A. v. Humboldts biologische Versuche bekunden, als ein kräftiges Agens für die Erzielung physiologischer Wirkungen betrachtet worden. Im Jahre 1799 hatte Volta das erste Exemplar zu stande gebracht, und demnächst gab er in einem an die Londoner Royal Society gerichteten Briefe der gelehrten Welt Kenntnis von dieser so folgenreichen Umgestaltung des Galvanischen Grundversuches. Es war der erste Konsul Bonaparte, der, als Volta im Jahre 1801 seinen Apparat dem Pariser Nationalinstitute demonstrierte, eine besondere Ehrung für den Erfinder beantragte. Volta selbst hat übrigens die latente Bedeutung seiner Säule durchaus noch nicht im vollen Umfange erkannt, denn seine späteren Arbeiten fallen wesentlich ins Bereich der Meteorologie, aber der geistige Funke, der von ihm ausgegangen war, hatte anderwärts gezündet, und noch im Sommer des Jahres 1800 wurde bekannt, daß A. Carlisle (1768—1840) und W. Nicholson (1753 bis 1815) die Polenden einer solchen Plattenbatterie in gewöhnliches Wasser gebracht und dadurch eine Zersetzung desselben zuwege gebracht hatten, welche bewirkte, daß sich am einen Drahtende

Wasserstoff, am anderen Sauerstoff ansammelte. Diese wichtige Entdeckung ward im Mai gemacht, schon im nächstfolgenden August aber von anderer Seite aufgenommen und weitergeführt. Es war jener J. W. Ritter, den wir als jugendlichen Heißsporn der Naturphilosophie im zweiten Abschnitte kennen lernten, von dem wir jedoch damals schon bemerkten, daß bei ihm in eigentümlicher, später kaum je wieder vorgekommener Weise exakte Nüchternheit und Liebe zu phantastischer Konstruktion Hand in Hand gingen. Er ergänzte den Versuch der beiden Engländer durch den experimentellen Nachweis, daß die ganze Wassermasse auf solche Weise in Gas verwandelt und daß, wenn man durch das so entstandene Gasgemenge einen elektrischen Funken durchschlagen läßt, dasselbe wieder zu dem wird, was es ursprünglich war, nämlich zu Wasser. Auch dehnte er die Zerlegung aus auf andere Flüssigkeiten, denen zuvor schon H. Davy und der Mediziner W. Cruikshank (1745—1800) eifriges Studium ihrerseits zugewandt hatten. Es war ein Glück, daß man allgemein gewöhnliches Wasser, wie es jeder Brunnen liefert, dem Volta-Strome aussetzte, denn wie wir heute wissen, würde bei absolut reinem, destilliertem Wasser keine Zersetzung eintreten, und es ist diese lediglich ein sekundärer Prozeß, während im angesäuerten Wasser die Gasentwicklung allein in den fremden Beimengungen beginnt und sich dann erst auf das eigentliche Wasser überträgt.

Auch anderweite Untersuchungen über die neue Methode der Elektrizitätserregung folgten sich rasch. Voltas an sich völlig zutreffende Behauptung, daß zwischen Reibungs- und Berührungselektrizität keinerlei prinzipieller Gegensatz bestehe, konnte von Ritter einstweilen noch mit einigem Rechte bestritten werden, wie denn auch die stärkste Batterie von Leidener Flaschen zur Zerlegung des Wassers in seine Bestandteile ganz unzulänglich erschien. Volta selbst gab ferner sein berühmtes Spannungsgesetz bekannt, welches feststellte, wie die einzelnen Metalle durch gegenseitige Berührung bezüglich positiv und negativ elektrisch erregt werden; er erkannte, daß eine aus verschiedenen Metallen bestehende Kette keine Übertragung der Elektrizität, keinen Strom, zuwege bringen könne, und stellte feste und flüssige

Leiter einander gegenüber. Ritter und Gilbert — auf einem anderen Gebiete erwähntermaßen Antipoden, hier aber Bundesgenossen — vervollständigten die von Volta angegebene Spannungsreihe, und P. L. Maréchaux (geb. 1764; Todesjahr nicht genau bekannt) konstruierte das erste, exakter arbeitende Galvanometer; das von Volta selbst mit mehr Zähigkeit als Berechtigung verteidigte Strohhalmelektrometer vermochte die daran gestellten Anforderungen nicht zu erfüllen. Letzteres war ein sehr feines Elektroskop, welches bei den von seinem Erfinder mit Vorliebe angestellten Untersuchungen über atmosphärische Elektrizität gute Dienste that, um Vorhandensein und Vorzeichenwechsel äußerst geringer Spannungen in der Luft anzuzeigen, ohne daß es doch zu Messungen geeignet gewesen wäre. Laplace und Coulomb sollen sich viele Mühe gegeben haben, Volta von der wahren Natur seines Elektrometers zu überzeugen, aber es wollte ihnen nicht glücken. Beiläufig bemerkt, hatte man damals eine neue Bethätigung der Luftelektrizität kennen gelernt, die wesentlich dazu beitrug, die Analogie der letzteren mit der galvanischen ersichtlich zu machen. Saussure hatte an Mauersteinen, A. v. Humboldt hatte an vulkanischem Gesteine in Mexiko Verglasungserscheinungen festgestellt, die nur auf Blitzwirkung zu deuten waren. Die schon 1711 von L. D. Hermann beschriebenen, aber jetzt erst als Zeugen eines Entladungsschlages richtig aufzufassenden Blitzröhren zogen die Aufmerksamkeit von Gilbert und K. G. Fiedler (1791—1853) auf sich, der auf weiten Reisen durch den größten Teil von Europa nach solchen Objekten mit vielem Glücke suchte. Indem Hachette und Beudant einen starken Strom durch eine mit losem Mehlpulver gefüllte Röhre hindurchschickten, brachten sie künstlich ähnliche verästelte Gebilde zu stande, und es konnte als gesicherte Thatsache gelten, daß der Blitz und der galvanische Ausgleich sich solch lockern Massen gegenüber in völlig übereinstimmender Weise offenbarten. Dieser Erkenntnis fehlte somit nicht eine höhere, über das zunächst der Erklärung unterstellte Phänomen hinausgehende Bedeutung.

Die Lehre von der Volta-Elektrizität besaß im ersten Jahrzehnte des neuen Jahrhunderts, da der Entdecker selbst ein fast

vollständiges Stillschweigen beobachtete, keine eifrigeren Pfleger als den Deutschen Ritter und den Engländer H. Davy. Der letztere ist der eigentliche Urheber der nachmals zu hohem Ansehen gelangten Theorie, daß chemische Vorgänge an der Berührungsfläche die Auslösung des Stromes bewirkten. Es tritt da, wo die Metalle sich berühren, eine stärkere oder schwächere Oxydation ein; das hatte auch die — im engeren Sinne — Voltasche Schule bereits wahrgenommen, aber man sah darin die Folge und in der Elektrizitätsentwicklung die Ursache, während Davy beide Momente umkehrte. Die Wärmewirkungen des Stromes wurden von Ritter eingehend untersucht, und wesentlich hierbei ward er im Jahre 1805 so nahe an das Fundamentalgesetz der Strömungselektrizität herangeführt, daß er anscheinend nur noch einen winzigen Schritt zu thun brauchte, um eben dieses Gesetz klar zu formulieren. Er that ihn aber nicht, und es verflossen noch 22 Jahre, ehe die entscheidende Folgerung gezogen wurde. Die als notwendig erkannte Vergrößerung der Platten erzielte man seit 1816 am besten durch Anwendung des Oerstedschen Cylinderapparates, mit dessen Hilfe auch die Funkenwirkung bequemer analysiert werden konnte. Oersted brachte dieselbe mit der gleichfalls schon bekannten Thatsache, daß der Strom Metalldrähte zum Glühen und Abschmelzen bringen kann, in ursächliche Verbindung. Die Experimente Davys lehrten, daß Eisen unter sonst gleichen Umständen bis zu einem gewissen Maße am schnellsten erhitzt werden könne, und daran reihten sich andere Metalle in dieser Aufeinanderfolge: Palladium, Platin, Zinn, Zink, Gold, Blei, Kupfer, Silber. Daß man auch ohne Flüssigkeit einen elektrischen Strom hervorbringen, also Trockensäulen aufbauen könne, scheint, nach E. Hoppes Ermittlungen, zuerst 1803 ein deutscher Physiker G. B. Behrens (1775—1813) erkannt zu haben, indessen wurde die erste brauchbare Säule dieser Art nicht vor 1810 hergestellt; G. Zamboni, dessen Name dem Apparate auch verblieben ist, erstellte damals eine solche, in der je 500 Scheibchen von Gold- und Silberpapier vereinigt waren. Sie gab ziemlich große Funken, verhielt sich aber chemisch indifferent. Daß letzteres nicht wirklich notwendig sei, daß vielmehr auch die Trockensäule, die ja eben nach P. Erman

(1764—1851) auch der Flüssigkeit in Wahrheit nicht ganz entbehrt, chemischer Kraftleistungen fähig sei, ist erst ziemlich viel später von P. Th. Rieß (1805—1883) dargethan worden, dessen Verdienst es war, der lange zurückgesetzten Reibungselektrizität auch neben dem Galvanismus zu neuem, wissenschaftlichem Leben verholfen zu haben.

Um 1820 schien der Siegeslauf der neuen Naturkraft zu einem vorläufigen Stillstande gekommen zu sein. Ein stattlicher Kreis von Erscheinungen war es freilich, in welchem sich die Elektrizitätslehre bewegte, und zumal deren Beziehungen zur Chemie, sowie zur Lehre von Wärme und Licht versprachen auch für die Zukunft noch wertvolle Bereicherungen unseres Wissensstandes. Dagegen fehlte noch jedes Band zwischen den beiden Polarkräften Elektrizität und Magnetismus. Von Franklin und Ritter war zwar das Vorhandensein einer Verwandtschaft zwischen denselben behauptet worden, aber die prüfenden Versuche M. van Marums (1750—1837), der für das seiner Leitung unterstellte Teylersche Museum in Harlem eine Elektrisiermaschine von riesigen Dimensionen angefertigt hatte, waren erfolglos. Wenn behauptet werden wollte, daß schon vor 1820, wie P. Configliacchi (1777—1844) und der Historiker Cantù angaben, G. D. Romagnosi (1761—1835) oder auch der bekannte Physiker J. S. C. Schweigger (1779—1857) eine Beeinflussung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom beobachtet hätten, so lag ein Mißverständnis, wo nicht absichtliche Täuschung zu Grunde. Nicht durch Zufall, sondern durch konsequente Festhaltung einer Gedankenreihe, die ihn viele Jahre lang beschäftigt hatte, machte es Oersted, der Entdecker der Zusammendrückbarkeit des Wassers, gewiß, daß, wenn eine Nadel von einem Strome umflossen ist, sie aus ihrer natürlichen, durch den Erdmagnetismus bedingten Ruhelage abgelenkt wird und in diese erst wieder nach Öffnung des Stromes zurückkehrt. Die Nähe des Drahtes und die Stärke des Stromes bestimmten die Größe des Ablenkungswinkels. Nicht minder ist auf Oersted, was mehrfach verkannt wurde, auch das Korrelat der ersten Entdeckung zurückzuführen: Ein beweglicher Stromkreis wird durch einen

festen Magneten abgelenkt. Da Schweigger und Erman die Versuche Oersteds mannigfach variierten, so hat man den letzteren großenteils nicht die hohe Bedeutung beigemessen, auf welche sie thatsächlichen Anspruch erheben können. Allerdings verdient auch Schweigger, ein glücklicher Experimentator, der leider späterhin durch seine halbmystischen Forschungen über die Urgeschichte der Physik der strengen Wissenschaft fast ganz entfremdet ward, eine ehrende Erwähnung in der mit 1820 anhebenden Geschichte einer neuen Disziplin, der Lehre vom Elektromagnetismus. Noch im gleichen Jahre gab er in seinem Multiplikator, einer Rolle von Kupferdraht, der mit Seide übersponnen war, ein sehr handliches Mittel an, um Stromwirkung und Nadelabweichung beträchtlich zu vergrößern. Unabhängig kam J. C. Poggendorff (1796—1877) mit einem ähnlichen Apparate zu stande, den er als Kondensator bezeichnete. Die Art und Weise, wie man durch Wachs- und Seidenüberzug die einzelnen Windungen gegeneinander isolierte, soll übrigens zuvor schon von S. Th. v. Soemmering empfohlen worden sein, dessen Name uns bald wieder unter einem etwas anderen Gesichtspunkte begegnen wird.

Mit der theoretischen Erklärung der elektromagnetischen Erscheinungen begannen sich sofort Biot, Savart und Ampère zu beschäftigen, der letztere mit besonderem Glücke. Schon im September 1820 konnte er der Pariser Akademie eine wichtige Mitteilung über den Zusammenhang der Bewegungsrichtung des Stromes und des Sinnes, in welchem die Nadel ausschlägt, machen; Oersted hatte dies auch angestrebt, aber seine Darstellung des Sachverhaltes war eine zu verwickelte. Ampère dagegen dachte sich eine menschliche Figur mit dem Strome schwimmend und gründete darauf eine einfache und eindeutige Regel zur Festlegung der Deviation. Er stellte weiterhin den wichtigen Satz auf: Zwischen gleich gerichteten Strömen besteht gegenseitige Anziehung, zwischen entgegengesetzt gerichteten gegenseitige Abstoßung. Zum Beweise seiner neuen Wahrheiten bediente sich Ampère ebenfalls einer multiplizierenden Vorrichtung, die er Solenoid nannte, sowie des seitdem so unzählig oft wiederholten Kunstgriffes, die Drahtenden in Quecksilbernäpfchen zu stellen.

Auch ist er der Erfinder des astatischen Nadelpaares, einer die Wirkung des Erdmagnetismus völlig ausschaltenden Nadelkombination, welche 1825 Nobili dazu benützte, das erste empfindliche Galvanometer, den Prototyp aller seitdem in reichster Fülle zur Anwendung gebrachten galvanometrischen Apparate, zusammenzustellen. Von Ampère geht auch die erste theoretische Erklärung der elektromagnetischen Vorgänge aus. Jeder natürliche Magnet wird umflossen von unzähligen Elementarströmen, deren Ebene zur magnetischen Achse senkrecht steht, und damit hängt zusammen, daß die Kraftwirkung bei galvanischen Stromkreisen ebenfalls rechte Winkel mit der Stromebene bildet. Diese neue Art von Kräften einem mathematischen Gesetze unterzuordnen, war Ampères Absicht in der berühmt gewordenen Abhandlung von 1827, welche die Elektrodynamik strenge begründen sollte. Die Kraft, mit der zwei Stromelemente aufeinander wirken, ist insofern der allgemeinen Anziehungskraft verwandt, als sie den Längen der Elemente und den Intensitäten der Ströme direkt, dem Quadrate der die Mitten der Elemente verbindenden Strecke umgekehrt proportional ist; dann aber geht in den Kraftausdruck noch ein Zusatzglied ein, worin die Kosinus der Winkel vorkommen, durch welche die wechselseitige Lage der beiden Elemente im Raume bedingt ist. Die neue Auffassung fand keinen freudigen Anklang; Arago tadelte an Ampère die Neigung zu kühnen Hypothesen, und Biot verglich die Elementarströme, um sie in der öffentlichen Meinung möglichst zu degradieren, mit den cartesianischen Wirbeln. Die Nachwelt urteilte gerechter, und kein geringerer als Maxwell belegte den französischen Physiker mit dem Ehrennamen eines „Newton der Elektrizitätslehre".

Auch anderweite Entdeckungen häuften sich in den zwanziger Jahren. Nachdem Arago zuerst die Dämpfung erforscht hatte, welche die Schwingungen einer Magnetnadel dadurch erleiden, daß man diese über einer Metallplatte aufhängt, trat er 1825 mit einer wesentlich entgegengesetzten Erscheinung, dem Rotationsmagnetismus, hervor; ließ man die Platte sich schnell um ihre Achse drehen, so wurde die vorher ruhende Nadel in diese rotatorische Bewegung mit hineingezogen. Schon vorher war durch

Seebeck die Aufmerksamkeit der Fachmänner auf die thermoelektrischen oder thermomagnetischen Erscheinungen gelenkt worden, welche besonders dann der Ergründung näher gebracht wurden, als die Konstruktion der ersten Thermosäule — aus Wismuth und Antimon — gelungen war. Schon Seebeck war es nicht entgangen, daß jede Art von Temperaturänderung stromauslösend wirkt, aber trotzdem erregte 1834 das Peltiersche Phänomen noch großes Aufsehen. Ein vom Wismuth zum Antimon gehender Strom brachte Erwärmung, ein umgekehrt gerichteter brachte Erkältung an der Verlötungsstelle hervor, und H. F. E. Lenz (1804—1865) brachte durch den Thermostrom Wasser zum Gefrieren. Auch die messende Seite der Elektrodynamik hatte eine wesentliche Förderung erfahren, als Pouillet, der seit 1822 auf diesem Gebiete arbeitete, die von C. G. De la Rive (1770—1834) sozusagen geahnte Tangentenboussole zur quantitativen Bestimmung auch der kleinsten Stromstärken einrichtete. Später hat er dieser auch die Sinusboussole zur Seite gestellt. Man erkennt, daß die Periode, innerhalb deren wir uns gegenwärtig bewegen, ungemein reich an neuen und wichtigen Errungenschaften war. Daß daneben auch Irrtümer und Übertreibungen mit unterliefen, kann in einem gährenden, bewegten Zeitraume nicht wunder nehmen. So wollte G. Pohl in Breslau, sonst ein ganz tüchtiger Elektriker (1788—1849), eine Ableitung der Keplerschen Planetengesetze nach den Gesetzen der Elektrodynamik erzwingen und litt bei diesem Beginnen, wie vorauszusehen war, Schiffbruch.

Immerhin fehlte in dem neuen Lehrgebäude, welches seine systematische innere Einrichtung etwas später, in A. C. Becquerels (1788—1878) großartigem, siebenbändigen „Traité de l'électricité et du magnétisme“ (Paris 1834—1840) finden sollte, ein besonders wichtiges Stück; noch wußte man nicht, wie jener Begriff, für den bereits die Benennung Stromstärke üblich geworden war, mit anderen meßbaren Größen, auf die man sich gleichfalls geführt gesehen hatte, innerlich zusammenhing. Hier griff der Mann ein, der, unbeschadet der Verdienste Anderer, doch recht eigentlich als der Gesetzgeber des Galvanismus gefeiert werden muß.

G. S. Ohm hatte kein leichtes Leben; erst 1833 war der schon im 46. Jahre stehende Gelehrte durch Anstellung an der polytechnischen Schule in Nürnberg äußeren Lebenssorgen entrückt worden, und erst 1849, nur fünf Jahre vor seinem Ende, hatte er an der Universität München diejenige Verwendung gefunden, die ihm vom Schicksale schon früher hätte beschieden sein müssen, wenn diese unvergleichliche Kraft zu ihrer vollen Entfaltung kommen sollte. Als Lehrer an der Berliner Kriegsschule veröffentlichte Ohm, mit dem wir als Molekulartheoretiker und Akustiker bereits Bekanntschaft geschlossen haben, die grundlegende Schrift „Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet", zu deren Ergebnissen er sich durch vorgängige, oft mit den allerprimitivsten Hilfsmitteln — denn andere standen ihm nicht zu Gebote — angestellte Experimentaluntersuchungen den Weg gebahnt hatte. Ihn leitete die Überzeugung, daß der galvanische Strom das, als was ihn diese Bezeichnung nach der Ansicht Vieler nur in übertragener Sprache charakterisierte, auch wirklich ist, und da unlängst Fourier die Gesetze der Wärmeströmung glänzend entschleiert hatte, so hielt er von Anfang an die Analogie zwischen Wasser-, Wärme- und elektrischem Strome fest, die sich so vollkommen bewähren sollte. Die Geschwindigkeit des Fließens ist im ersteren Falle bestimmt durch den Neigungswinkel, im zweiten durch den Temperaturunterschied; als Seitenstück hierzu erkannte Ohm die Spannungs- oder Potentialdifferenz, für welche er sich des auch in neuester Zeit noch gerne gebrauchten Namens Gefälle bediente. Dieses ist der sogenannten elektromotorischen Kraft proportional; andererseits spielt aber auch der Widerstand herein, den der Strom beim Durchfließen des ihm vorgeschriebenen Weges zu überwinden hat. Durch eine seine Eigenart kennzeichnende, glückliche Verbindung von Reflexion, Rechnung und Versuch, für welch letzteren zuerst Hydro-, später aber Thermoketten herangezogen wurden, erreichte es der Meister, eine überaus einfache Formel aufstellen zu können, deren Sinn auch leicht in Worten wiederzugeben ist: Die Stromstärke ist gleich der elektromotorischen Kraft, dividiert durch die Summe der von Elementen und Leitungsdrähten gebotenen Widerstände.

Wir entsinnen uns, daß Ritter von dieser Grundwahrheit gar nicht weit entfernt war; möglich, daß auch Pouillet selbständig dieselbe aufgefunden hat, obwohl nicht zu vergessen ist, daß damals, als der französische Physiker mit seinen Messungen der Leitungsfähigkeit von Drähten vor die Öffentlichkeit trat, die Ohmsche Schrift schon einige Zeit bekannt war.

Oder, richtiger gesprochen, bekannt sein konnte! Es ist nämlich kein tröstliches Bild, welches uns die Geschichte des Ohmschen Gesetzes in seinem Jugendstadium vor Augen stellt. Die Anzahl Derer, welche die Tragweite der Entdeckung zu würdigen verstanden, war gerade in Deutschland eine ganz beschämend geringe, und die alte Erfahrung, daß der Prophet im eigenen Vaterlande am wenigsten gilt, mußte auch Ohm, der noch dazu eine überaus bescheidene Natur war, ausgiebig machen. Eine willkommene Bestätigung lieferte zuerst G. Th. Fechner in Leipzig (1801—1887); willkommen besonders deshalb, weil er keineswegs seine „Maßbestimmungen" über die galvanische Kette in Anlehnung an jenes Gesetz vorgenommen hatte. Er stand diesem vielmehr ganz unparteiisch gegenüber, und um so mehr fiel ins Gewicht, daß er durch Präzisionsmessungen dieselben Thatsachen erhielt, welche Ohm in seiner einfacheren Weise hergeleitet hatte. Für Flüssigkeiten bewiesen die Richtigkeit des Gesetzes zwei durch die Feinheit ihrer Versuche ausgezeichnete deutsche Physiker, R. H. Kohlrausch (1809—1858) und dessen Nachfolger als Professor der Physik in Erlangen, W. Beetz (1822—1886), der in den vierziger Jahren mit Arbeiten über die elektromotorischen Kräfte des Eisens und der Gase seine Laufbahn eröffnete. Erst die Franzosen und Engländer brachten das neue Gesetz zu Ehren, dessen Wert übrigens auch Berzelius gleich nach seinem Bekanntwerden richtig geschätzt hatte. Vor allem ist Wheatstone unter Denen zu nennen, die erkannten, wie wichtig es war, den bisherigen vagen Begriffen klare, meßbare Werte substituieren zu können. Am 30. November 1841 erkannte die Royal Society dem Entdecker die nur für außerordentliche naturwissenschaftliche Leistungen bestimmte Copley-Medaille zu, und damit fielen auch Vielen die Schuppen von den Augen, die um der Sache selbst willen Ohms Verdienst noch nicht zu

würdigen gelernt hatten. Die dankbare Nachwelt hat die Namen der drei großen Forscher, welche im ersten Drittel des Jahrhunderts am meisten dazu beigetragen haben, eine vorher dunkle Naturkraft in das Licht strengster Gesetzmäßigkeit zu rücken, in ihrer Terminologie verewigt: Die Einheit der elektrischen Spannung heißt 1 Volt, die Einheit der Stromstärke 1 Ampère, die Widerstandseinheit endlich 1 Ohm. Vorschläge zur Einführung allgemein vergleichbarer Maßeinheiten wurden zuerst von Pouillet (1837) gemacht.

Eine sehr bemerkenswerte Anwendung der Ohmschen Prinzipien ließ sich bereits in nächster Zeit machen, indem durch G. Th. Fechner (1801—1887), Poggendorff, Lenz u. a. die Frage der galvanischen Polarisation auf die Tagesordnung gesetzt wurde. Man hatte die unliebsame Wahrnehmung gemacht, daß die Leistungsfähigkeit der galvanischen Elemente mit der Zeit abnahm, und besonders Lenz stellte fest, daß hier ein elektrolytischer Prozeß die Schuld trug. An den Platten entwickelten sich Gase, und mit ihnen ward einem entgegengesetzt gerichteten Strome zum Dasein verholfen; da für diesen das in Rede stehende Gesetz nicht minder Giltigkeit besitzt, so muß der Polarisationsstrom der ursprünglichen Intensität Abbruch thun. Was man über die Elektrolyse, zu der bekanntlich Ritter, Nicholson und Carlisle den Grund gelegt hatten, Sicheres wußte, das dankte man in erster Linie dem genialen Faraday, dessen „Experimental Researches in Electricity“ serienweise von 1831 bis 1855 erschienen. Dieses Fundamentalwerk hat uns Deutschen S. Kalischer (geb. 1845) durch eine dankenswerte Übersetzung zugänglicher gemacht. Es sei deshalb ein kurzes Wort über dasselbe, das ja durchaus keinen Anspruch auf systematische Ordnung macht, an dieser Stelle gestattet. Man könnte es die hohe Schule des Physikers nennen, denn im diametralen Gegensatze zu seinem wissenschaftlich-aristokratischen Landsmanne Newton, der nur fertige Ergebnisse vorlegte und die dahin führenden Wege grundsätzlich verschleierte, läßt uns Faraday den freiesten Blick in sein Geistesleben thun, verhüllt uns nichts und legt von Erfolgen wie Mißerfolgen gleichmäßig Zeugnis ab. Und letztere Abschnitte sind

sogar oft die belehrendsten, weil sie uns zeigen, wie das Genie es anfängt, die gemachten Fehler zu verbessern und auf gekrümmtem Wege doch endlich zur Wahrheit durchzudringen. So tritt Faraday uns auch hier entgegen. Er gab dem jungen Wissenszweige, von Whewell beraten, die treffende Nomenklatur. In den Elektrolyten tauchen die Elektroden; an der Anode, durch welche der positive Strom eintritt, scheidet sich das elektronegative Anion, und an der Kathode scheidet sich das elektropositive Kation ab. Der Zersetzungsvorgang ist identisch mit einer Wanderung der Ionen. Wie diese sich vollzieht, das haben zuerst (1820) v. Grothuß und später J. W. Hittorf mittelst einer geistvollen Hypothese aufzuklären gesucht, die sich lange keinen rechten Eingang zu verschaffen vermochte, neuestens aber von einem weit jüngeren Physiker, dem Finnländer Svante Arrhenius, wieder aufgenommen ward und nunmehr, freilich in modifizierter Gestalt, als das beste Mittel zur Aufhellung der vielen obschwebenden Dunkelheiten anerkannt wird. Näher darauf einzugehen, ist hier noch nicht der Ort; wir haben noch zu sehr mit den rein thatsächlichen Momenten zu thun. Faraday erhob die Elektrolyse zu einer mächtigen Handhabe der chemischen Scheidekunst, indem er eine große Menge von Verbindungeu solchergestalt in ihre Bestandteile zerfällte und die Regel fixierte, daß die elektrolytische Zersetzung proportional zur Stromstärke wächst. Auch die Reibungselektrizität ist nach Faraday und Rieß solcher Wirkungen fähig, während man dies früher angezweifelt hatte. Es leuchtet ein, daß mit diesen elektrolytischen Verbindungen in naher Verwandtschaft das Bestreben steht, konstante Elemente zu konstruieren; diese sollen ja eben des Polarisationsstromes entbehren. Auf K. T. Kemp (1806—1843), W. Sturgeon (1783—1850) u. a. folgt als der, dem eine sehr befriedigende Lösung der im strengsten Sinne selbstredend unlösbaren Aufgabe gelangt, der uns durch seine Verdienste um die Hygrometrie bekannt gewordene Engländer Daniell. Damit war eine Reihe neuer, fruchtbringender Erfindungen eröffnet; W. R. Grove (1811—1896), Poggendorff, R. W. Bunsen (1811—1899), C. F. Schoenbein (1799—1868) haben Elemente von relativer Unveränderlichkeit angegeben, die

natürlich für die experimentelle Prüfung des Ohmschen Gesetzes großen Vorteil darboten. Auch bis in unsere Tage herein lassen sich mehr und weniger gelungene Bemühungen dieser Art verfolgen. Man probierte alle möglichen Metalle und Säuren durch und bemerkte u. a., daß Eisen eine ganz auffallende Passivität an den Tag legt, wenn es mit Salpetersäure in Kontakt tritt. Durch Faraday, Schoenbein und Beetz wurde der Grund dieses außergewöhnlichen Verhaltens in einer Oxydschicht erkannt, welche in Salpetersäure unslöslich ist und dieser eine chemische Einwirkung auf das Eisen verwehrt.

Eine Anomalie von teilweise verwandtem Charakter gewährte die Möglichkeit, in ein ganz neues Gebiet eingeweiht zu werden, nämlich in das von der Allotropie chemischer Elemente. Faraday hatte seine oben erwähnte quantitative Zersetzungsregel beim Wasser nicht bestätigt gefunden, und Schoenbein deckte im Jahre 1839 den Grund dieser scheinbaren Durchbrechung eines Naturgesetzes auf. Es entwickelte sich nämlich an der den Sauerstoff aufnehmenden Elektrode ein eigentümlicher Geruch, der es nahe legte, man habe es hier mit einer Modifikation des Sauerstoffes zu thun, die nur unter besonderen Verhältnissen bemerkbar werde. Dieser allotrope Sauerstoff wurde von seinem Entdecker Ozon (Riechstoff) genannt und bald auch aus anderen Stoffen dargestellt. Es entging auch Schoenbein nicht, daß das Ozon gewöhnlich in der Atmosphäre vorhanden und daran zu erkennen ist, daß ein mit Jodkaliumkleister bestrichener Papierstreifen sein Jod verliert und gebläut wird. Zumal nach der meteorologischen Seite hin beuteten N. W. Fischer (1782—1850) und W. H. Th. Plieninger (1795—1879) den Fund Schoenbeins aus, allein die Hoffnung, eine exakte Ozonometrie ins Leben zu rufen und derselben wichtige hygienische Resultate abgewinnen zu können, hat sich gewiß wenigstens nicht in dem Umfange bestätigt, wie anfänglich angenommen wurde.

Angesichts so tief einschneidender Fortschritte ihrer jüngeren Schwester war die ältere, die Lehre von der Reibungselektrizität, längere Zeit zu einer gewissen Thatenlosigkeit verdammt, doch brachen, worauf oben schon angespielt ward, auch für sie bald

wieder bessere Tage an. Wheatstone wagte es, die Dauer des Entladungsfunkens zu messen, indem er das 1834 von Plateau erdachte und gleich nachher von S. Stampfer (1792 bis 1864) für physikalische Zwecke verwertete Prinzip der stroboskopischen Scheiben anwandte. Ebenderselbe bestimmte die Fortpflanzungskonstante der Elektrizität mittelst des rotierenden Spiegels und fand sie etwa $^1/_3$ mal größer als diejenige des Lichtes. Der Rückstand, kraft dessen eine Leidener Flasche auch dann noch Funken giebt, wenn man ihrer völligen Entladung sicher zu sein glauben dürfte, wurde von Faraday dahin erklärt, daß von den Belegungen Elektrizität in den sogenannten Isolator, der diese Eigenschaft ja doch nie absolut vollkommen besitzt, eindringt und nach der Entladung zur Belegfläche zurückwandert. Überhaupt unterzog der englische Meister die überkommene Lehre von Leitern und Nichtleitern einer gründlichen Revision und ersetzte den letzgenannten Begriff durch den des Dielektrikums, den die Folgezeit adoptiert hat. Die Art und Weise freilich, wie sich die Influenz, die Übertragung elektrischer Spannung ohne unmittelbare Berührung, durch das Dielektrikum hindurch vollzieht, blieb zunächst noch Gegenstand der Kontroverse zwischen Faraday und Rieß. Eine Influenzelektrisiermaschine konstruierte zuerst 1831 G. Belli (1791—1860). Seit 1841 bildete eine neue, bisher unbekannte Manifestation der Reibungselektrizität das Ziel sehr ausgedehnter Untersuchungen; es war die 1840 zuerst ganz gelegentlich wahrgenommene Reibung des ausströmenden Wasserdampfes an der Gefäßwandung. Die Dampfelektrisiermaschine des durch seine großartigen Leistungen im Kanonengießen berühmter gewordenen Ingenieurs Armstrong (geb. 1810) zeichnete sich durch die Großartigkeit der ihr entlockten Funkenwirkung aus; theoretisch aber lieferte sie, wie Faraday zeigte, keine neuen Aufschlüsse, da die bekannten Thatsachen der durch irgendwelche Reibung hervorgebrachten Elektrizität zur Erklärung der Maschine und ihrer Leistungen hinreichten.

Die vielfältigsten Bereicherungen wuchsen im zweiten Viertel des 19. Jahrhunderts dem elektrischen Instrumentarium zu,

vornehmlich bezüglich genauerer Meßapparate. J. Dellmann (1805—1870) verfeinerte, um zuvörderst bei der Reibungselektrizität zu verbleiben, die Coulombsche Drehwage, und Oersted sorgte 1840 für eine stabilere Ruhelage des Stäbchens, indem er dieses mit einem schwach magnetischen Eisenstäbchen versah, an welchem erst der das Ganze tragende Faden befestigt war. Mit einem ähnlichen Elektrometer bewerkstelligte Dellmann von 1842 an jene fleißigen Messungen der Schwankungen des elektrischen Luftpotentiales, in denen mit ihm E. Romershausen (1784—1857) seit 1846 wetteiferte. Eine aus dem Fenster des Beobachtungsraumes ins Freie hinausragende, mit Spitzen ausgestattete Eisenstange ermöglichte die Übertragung der elektrischen Spannung aus der Atmosphäre auf den Drehbalken. Kohlrausch ersetzte den Kokon- durch einen Glasfaden und brachte auch sonst noch manch verbessernde Abänderung an dem Apparate an. Wenn wir uns dann denjenigen Instrumenten zuwenden, welche für die Lehre von der strömenden Elektrizität bestimmt waren, so brauchen wir an die bereits genannten Erfindungen Pouillets nur noch zu erinnern. W. Weber wies 1840 nach, daß mittelst der Tangentenboussole die Stromstärke auf jenes absolute Maß zurückgeführt werden kann, welches, wie wir im geophysikalischen Abschnitte feststellten, Gauß für die magnetischen Momente so einfach wie möglich definiert hatte. Auch von J. J. Nervander (1805—1848) und J. M. Gaugain (1810—1878) rühren besondere Konstruktionen der Tangentenboussole her, indem namentlich der letztere nachwies, es lasse sich eine korrektere Ablesung erzielen, wenn man den Drehpunkt der Zeigernadel nicht in den Mittelpunkt des Stromkreises verlegt, sondern eine gewisse Verschiebung ersterer eintreten läßt. Ein erstes zuverlässiges Voltameter, bestimmt, die Stromstärke elektrolytisch zu messen, lieferte um 1834 Faraday, und der St. Petersburger Physiker M. H. v. Jacobi (1801—1874), der Bruder des berühmten Mathematikers, führte viele Messungen auf Grund der Norm aus, daß jenem Strome die Intensität 1 zuzuschreiben ist, der in der Zeiteinheit 1 cbcm Knallgas ergiebt. Da Faradays Gesetz von einem chemischen Stoffe zum anderen überzugehen gestattet, so kann man nunmehr jedes andere Maß mit dem hier in Frage

kommenden Maße verbinden. W. Weber stellte 1840 den Zusammenhang zwischen chemischer und elektromagnetischer Einheit her, indem er sich dabei der zwar schon von W. Snow Harris (1798—1867) angeregten, aber noch niemals zur praktischen Durchführung gelangten bifilaren Aufhängung bediente. Den ersten brauchbaren Widerstandsmesser gab 1841 Poggendorff an, und in die gleiche Bahn traten v. Jacobi und Wheatstone. Von diesem letzteren rührt der jetzt allgemein gebräuchlich gewordene Name Rheostat her; auch arbeitete er auf diesem Gebiete noch weiter, und die 1845 entstandene Wheatstonesche Brücke gewährleistet eine ausnehmend scharfe Widerstandsbestimmung. Die Gesetze, nach denen in einem Systeme linearer Leiter die Stromverzweigung vor sich geht, waren schon 1845 von einem erst 21 Jahre zählenden Jünglinge aufgefunden worden, von G. R. Kirchhoff (1824—1887), der durch diese Untersuchung frühzeitig erkennen ließ, wie viel die Wissenschaft noch von ihm zu erhoffen berechtigt war.

Es ist jetzt an der Zeit, wieder zurückzukehren zu den schwerwiegenden Entdeckungen, mit welchen der unermüdliche Faraday die Physik bereicherte. Es sind dies die Induktion und der Diamagnetismus. Der von Arago entdeckte, von Nobili und Ch. Babbage (1797—1871) weiter verfolgte Rotationsmagnetismus mochte bezüglich der ersteren auf die Spur verholfen haben, denn wir haben es da allerdings mit einer induzierenden, d. h. mit einer solchen Wirkung zu thun, welche nicht auf direkter Übertragung beruht. Immerhin war Faradays Entdeckung doch etwas ganz Neuartiges, denn nicht ein bestimmter Bewegungszustand, der einem gewissen Körper anhaftete, wurde von einem anderen Körper übernommen, sondern es fand sich, daß bloß Anfang und Ende des Bewegungszustandes eine auslösende Bedeutung besaßen. Wenn eine Drahtspule vom galvanischen Strome durchflossen wurde, übte sie auf eine Nachbarspule nicht den geringsten Einfluß aus, und ein von letzterer umgebenes Galvanometer trat nicht aus seinem Indifferentismus heraus; beim näheren Zusehen dagegen konnte man wahrnehmen, daß stets dann, wenn der erste Strom geschlossen oder geöffnet ward, eine Zuckung der Galvanometer-

nadel eintrat. Beide sekundäre Ströme, die also nur Unterbrechungsströme waren, erwiesen sich als entgegengesetzt gerichtet. Gerade in der Vorgeschichte der Induktion zeigt sich Faradays Größe, die sich in rücksichtslosester Klarlegung auch der Fehlschlüsse offenbart, am deutlichsten. Er versucht zuerst, ob auch durch den freien Fall einer Drahtspule das Galvanometer in Erregung versetzt werden könne; er weist dann dem fallenden Ringe einen bestimmteren Weg an, indem er ihn längs einer Stange herabgleiten läßt; und nachdem er schließlich die Holzstange durch einen Eisenstab ersetzt hat, bemerkt er den entscheidenden Ausschlag der Nadel, der ihn belehrt, daß nicht der andauernde Strom allein Wirkungen bedingt. Volta- und Magnetinduktion ließen sich offenbar durch einen wesentlich übereinstimmenden Gedankengang erklären, und zwar giebt die Ampèresche Hypothese Aufschluß über Art und Richtung der Induktionsströme. Lenz variierte die entscheidenden Versuche noch vielfach und sah sich so in die Lage versetzt, einen noch allgemeineren Satz aussprechen zu können. Wenn a und b zwei Stromkreise sind, deren erster auch wirklich von einem Strome durchflossen wird, während sich b in neutralem Zustande befindet, so reicht es hin, daß b seine Lage gegen a verändert, um auch in b einen sekundären, durch a induzierten Strom zu erzeugen. Ein Magnet, der ja als ein Aggregat sehr vieler und sehr kleiner Kreisströme anzusehen ist, leistet das Gleiche. Daß auch der Entladungsstrom einer Batterie Induktionswirkungen hervorzurufen imstande ist, ermittelten Rieß und G. Marianini (1790—1866), und zwar verhalten sich ihren Intensitäten nach zwei solche Nebenströme ebenso, wie die induzierenden Hauptströme. Rieß konnte sich bei derartigen Stärkevergleichungen auf sein feines Luftelektrometer beziehen; die Luft in einer geneigt aufgestellten Röhre wird durch die Entladung erwärmt und ausgedehnt, so daß ein Quecksilberfaden, der dabei hin und hergeschoben wird, in seiner augenblicklichen Endlage den Grad der Erwärmung signalisiert. Für den in Drähten oder Magnetstäben induzierten Strom hat späterhin Edlund den entsprechenden Beweis erbracht. Eine umfassende theoretische Diskussion des Wesens der Induktion ging 1839 von W. Weber aus, und zwar hat dieselbe zweifellos

nachgewirkt auf jene elektrodynamischen Untersuchungen, welche eine neue Epoche dieser Spezialdisziplin einleiteten. Rein chronologisch betrachtet, würden dieselben noch in den gegenwärtigen Zeitraum fallen; mit Rücksicht auf ihre Bedeutsamkeit für die physikalische Gesamtauffassung wird ihnen jedoch ihr Ort besser erst später angewiesen. Denn die Induktion war mit den damals noch allseitig anerkannten Anschauungen über das Wesen der magnetischen und elektrischen Kraftäußerungen durchaus nicht zu erklären, und gerade um ihrer willen hat die wissenschaftliche Welt bereitwilliger die neuen Ideen auf sich wirken lassen, die von England nach dem Kontinente hinübergelangt waren.

Schon vor 1846 hatte Faraday eine überaus merkwürdige Wirkung des Elektromagnetismus bemerkt; derselbe brachte eine Drehung der Polarisationsebene des Lichtes zu Wege. Wenn ein Nicolsches Prisma, von dessen Eigenschaften ja bereits in diesem Abschnitte gesprochen werden mußte, so eingestellt war, daß eine totale Auslöschung des Lichtes eintrat, so genügte die Nähe eines Magneten, um den vorher vernichteten Strahl wieder sichtbar zu machen, und erst wenn das Prisma um einen gewissen Winkel gedreht worden war, trat wieder gänzliche Dunkelheit ein. Diese Entdeckung, welche in Bälde von anderen kontrolliert und bekräftigt wurde, ließ in Faraday die Idee entstehen, daß alle Substanzen magnetischer Beeinflussung fähig seien, und so verhält es sich denn auch wirklich. Bringt man in geeigneter Form die zu prüfenden Körper zwischen die Pole eines kräftigen Hufeisenmagneten, so sind dieselben entweder paramagnetisch (schlechthin magnetisch) nach Art des Eisens, Nickels, Platins u. s. w. oder aber diamagnetisch, d. h. sie stellen sich so ein, daß ihre magnetische Achse mit der Verbindungslinie der Pole rechte Winkel einschließt. Dahin gehören Bergkrystall, Phosphor, Wismuth, Antimon und verschiedene Gase. Auch die gewöhnliche Lichtflamme ist diamagnetisch, indem sie von den Magnetpolen abgestoßen wird. Faraday identifizierte die Induktion mit dem Diamagnetismus. W. Weber hat auch für diese Lehre neue Perspektiven eröffnet, denen an geeigneter Stelle weitere Beachtung zu widmen sein wird.

Die Elektrizitätslehre wurde im allgemeinen zunächst um ihrer selbst willen betrieben, aber es konnte natürlich nicht fehlen, daß sich praktische Anwendungen derselben in Hülle und Fülle von selbst einstellten. Die wichtigsten derselben gehören nicht etwa bloß in eine Geschichte der Technik, sondern auch in die der Physik, da ja unsere Wissenschaft stets stolz darauf war, der menschlichen Gesellschaft hilfreiche Hand bieten zu können. Es sind hauptsächlich vier Modalitäten, von deren Werden und Erstarken wir kurzen Bericht erstatten wollen, die elektrische Beleuchtung, die Galvanoplastik, die Verwendung der Elektrizität zu motorischen Zwecken und schließlich die Telegraphie. Jedermann weiß, wie durch richtige Fassung und Ausnützung der vielgestaltigen Naturkraft unser ganzes Dasein umgestaltet worden ist, und noch sind wir sehr weit von einem auch nur einstweiligen Abschlusse entfernt. Aber alle diese großartigen Neuerungen haben ihre Wurzel in der ersten Hälfte des Jahrhunderts, und so liegt uns hier die Verpflichtung ob, die früheren Entwicklungsstadien des späteren elektrischen Zeitalters, wie man sich wohl mit ganz glücklicher Wendung ausgedrückt hat, in Betracht zu ziehen.

Daß der elektrische Funke nichts als ein Aggregat glühend gewordener Metallteilchen sei, welche durch den Ausgleichsakt von den Drahtenden losgerissen wurden, hatte Pfaff in Kiel frühzeitig konstatieren können. Ritter ging von den metallischen Enden zum Kohlenstifte über, und Davy brachte einen besonders kräftigen Lichtbogen, wie ihn übrigens auch schon seine Vorgänger dargestellt hatten, dadurch zustande, daß er den Funken im luftverdünnten Raume zwischen zwei Kohlenspitzen überspringen ließ. Im Juli 1820 hatte zuerst C. G. de la Rive aus Genf der schweizerischen Naturforscherversammlung einen blendend hellen Lichtbogen vorgeführt, während Davys entscheidendes Experiment, zu welchem 2000 Elemente vereinigt wurden, aus dem Jahre 1821 stammt. Die von W. Th. D. Casselmann (1820—1872) in einer Schrift von 1843 gegebene Erklärung des Phänomenes hat sich als eine völlig zutreffende erwiesen. Der Querschnitt der Leiter ist, da man es ja mit Spitzen zu thun hat, ein sehr kleiner, der Widerstand somit ein sehr großer, und damit wächst die Erhitzung

dermaßen, daß unausgesetzt glühende Kohlenteilchen von Pol zu Pol wandern. Nachdem Foucault 1846 den Ersatz der gewöhnlichen Holzkohle durch die aus den Rückständen der Gasometer gewonnene Retortenkohle in Anregung gebracht hatte, gelang es, die Lichterscheinung noch glänzender zu gestalten und damit auch für die Praxis nutzbar zu machen, denn bisher war der Anblick des Davy-Bogens, wie man wohl sagte, ausschließlich den Besuchern physikalischer Experimentalvorträge vorbehalten gewesen.

Die Elektrolyse hat einer Kunst das Dasein verliehen, welche seitdem vielfach ausgeübt worden ist. Im Jahre 1839 veröffentlichte v. Jacobi die Beschreibung eines Verfahrens, um Kopien von Gravuren zu erhalten; letztere kamen als Kathoden in eine mit Kupfervitriollösung gefüllte Zelle, und wenn durch diese ein Strom geschickt wurde, so bildete sich auf der Oberfläche der eingehängten Platte ein Kupferüberzug, den man ablösen konnte. R. Boettger (geb. 1806), ein sehr glücklicher Experimentator, der während ungemein langer Dienstzeit am Frankfurter Senckenbergianum Chemie und Physik durch eine Menge hübscher Erfindungen bereicherte, verbesserte diese Methode so, daß er zumal von Kupferstichen die besten Abdrücke in größerer Anzahl herstellte. Durch ein größeres Werk v. Jacobis („Die Galvanoplastik", St. Petersburg 1840) wurde die neue Technik im Großen und Ganzen auf den Stand gebracht, auf dem sie sich noch heute befindet, obschon Detailverbesserungen aller Art nicht ausgeschlossen waren. Der Mineraloge v. Kobell z. B. stellte der eigentlichen Nachbildung körperlicher Objekte durch zweimalige Anwendung des elektrolytischen Zersetzungsprozesses die von ihm 1842 erfundene Galvanographie als ein bequemes Reproduktionsmittel zur Seite.

Die ungeheuren Anziehungskräfte, welche hufeisenförmige Elektromagnete auszuüben vermögen, machten schon frühzeitig den Wunsch rege, es möchten dieselben für die praktische Mechanik irgendwie ausgenützt werden. Einen ersten Elektromotor konstruierte 1830 S. Dal Negro (1768—1839), und ihm folgte fünf Jahre später sein Landsmann G. D. Botto (1791—1865). Ein permanenter Stahlmagnet wirkte als Doppelpendel oder Balancier, und indem derselbe zwischen den Polenden eines festen

Elektromagneten hin und her schwang, wurde stetig ein Strom im Flusse erhalten, während eine Transmission die Bewegung auf ein zum Heben von Gewichten bestimmtes Rad übertrug. Selbstverständlich war dies nur ein Demonstrationsapparat, keine eigentliche Arbeitsmaschine; einer solchen scheint die Vorrichtung näher gekommen zu sein, mit deren Hilfe v. Jacobi 1838 ein von 12 Personen besetztes Boot auf der Newa seine Fahrt machen ließ. Derselbe hat auch die erste Theorie der Beziehungen zwischen elektromotorischen Kräften und pondermotorischen Leistungen aufgestellt. Einen neuen Motor beschrieb 1839 der Frankfurter Arzt C. E. Neeff (1782—1849); nach Rosenberger wäre freilich der sogenannte Neeffsche Hammer thatsächlich aus dem Erfindungsgeiste des ebenfalls in Frankfurt a. M. wohnenden Mechanikers J. P. Wagner (1799—1879) hervorgegangen, dem der Bundestag für die von ihm versprochene elektrische Lokomotive eine stattliche Subvention versprochen hatte. Wagner vermochte seine Zusage nicht zu erfüllen, und damit schien die Hoffnung, daß die Elektrizität auch in der Lehre von den Bewegungsmechanismen eine Rolle zu spielen berufen sei, illusorisch geworden zu sein. Doch gewährte die Entdeckung der Induktion neue Zuversicht, und die äußerst leistungsfähigen magnetoelektrischen Maschinen von E. Stoehrer (1813—1890) ließen vermuten, daß das letzte Wort in dieser Hinsicht noch nicht gesprochen sei. Immerhin wird jedermann zugeben, daß es recht unscheinbare Anfänge waren, aus denen sich die längst zur selbständigen Wissenschaft gewordene moderne Elektrotechnik heraus entwickelte.

Ungleich geringer ist der Abstand zwischen schüchternem Anfangsversuche und hoher Vollendung im Telegraphenwesen. Die Reibungselektrizität allerdings war, weil sie der konstant wirkenden Kraft entbehrte, unvermögend, die Korrespondenz zwischen zwei distanten Orten in regelrechtem Gange zu erhalten, und wenn es auch Watson, Lesage, Salva im Laufe des 18. Jahrhunderts gelang, gelegentlich einmal ein noch in weiter Entfernung verständliches Signal zu geben, so war damit doch für die Anwendung im großen kaum mehr erreicht, als durch den Vorschlag, welchen die „Mathematischen und Philosophischen Erquickstunden“ Daniel

Schwenters im Jahre 1626 gemacht hatten: „Wie mit dem Magnetzünglein zwo Personen einander in die Ferne etwas zu verstehen geben mögen.“ Ungleich höher ist v. Soemmerings Idee (1809) zu veranschlagen, die Wasserzersetzung zum Telegraphieren zu benützen. Der dazu angefertigte Apparat wird noch in den Münchener wissenschaftlichen Staatssammlungen aufbewahrt. Am Aufgabeorte a und am Empfangsorte b sind je soviel mit Wasser gefüllte Röhrchen parallel nebeneinander aufgestellt, als das Alphabet Buchstaben enthält, und je zwei zusammengehörige Röhrchen sind durch einen Draht verbunden. Wird in einem Behälter der Station a der Strom geschlossen, so daß die Wasserstoffperlen aufzusteigen beginnen, so vollzieht sich ein Gleiches im homologen Behälter der Station b, und der Beobachter in b weiß, daß sein Kollege in a denjenigen Buchstaben übermittelt hat, welchen das fragliche Rohr trägt. So wären also auch Wörter und Sätze, freilich nur mit großer Langsamkeit, weiterzugeben. Wirklich telegraphiert ist nach diesem Verfahren niemals worden: Napoleon rechnete die elektrische Telegraphie zu den von ihm verspotteten „teutonischen Chimären“ und blieb bei seinen optischen Telegraphen, die Cl. Chappe (1763—1805) eingerichtet hatte. Dieselben waren ja auch, obwohl die Witterung nicht selten den ganzen Benachrichtigungsdienst störte, in dem damaligen kriegerischen Zeitalter wohl bewährt befunden worden, wie sie denn auch bis in die fünfziger Jahre von den Regierungen der meisten europäischen Länder beibehalten wurden und jetzt noch als Semaphoren der Bahnhöfe unentbehrlich sind. An die Verwendung des durch Galvanismus erregten Magneten scheint zuerst Ampère 1820 gedacht zu haben, und beiläufig 10 Jahre nachher machte P. Schilling von Canstadt (1786—1837) die wichtige Entdeckung, daß keineswegs eine ganze Anzahl von Drähten zum Telegraphieren erfordert wird, weil ja durch Stromumkehrung mittelst eines Kommutators die Nadel willkürlich nach rechts und links zum Ausschlagen gebracht werden kann. Im Jahre 1835 legte v. Schilling, der auch zugleich der Erfinder der submarinen Minensprengung ist, ein nach seinem Plane gebautes Telegraphenmodell der Bonner Naturforscherversammlung vor, und nach diesem ließ sich der Heidel=

berger Professor G. W. Muncke ein zweites für Vorlesungszwecke konstruieren. Das letztere habe, so wird berichtet, ein junger Engländer, Munckes Zuhörer, kennen gelernt, und durch diesen wäre dann Wheatstone zu weiteren Versuchen animiert worden, die in der Erfindung jenes ganz brauchbaren Nadeltelegraphen gipfelten, der seit 1837 im englischen Eisenbahnwesen seine Dienste that. Noch vorher jedoch hatten Gauß und W. Weber sich in Göttingen ein selbständiges Telegraphensystem eingerichtet, denn am 28. November 1833 schrieb Gauß an Olbers, er habe durch eine 8000 Fuß messende den St. Johannisturm als Zwischenpunkt benützende Drahtleitung seine Sternwarte mit dem physikalischen Kabinette der Universität in Verbindung gebracht; er könne kein Hindernis absehen, weshalb man nicht in ganz gleicher Weise „auf einen Schlag" eine Unterredung zwischen Göttingen und Hannover oder zwischen Hannover und Bremen sollte inszenieren können. Eine Induktionsspule lieferte den Strom für den Depeschenverkehr der beiden berühmten Gelehrten; weiter praktische Folgen hatte die rein esoterische Einrichtung aber nicht. Mit um so größerer Energie nahm K. A. v. Steinheil (1801—1870) der praktischen Verwertung des Fernsprechprinzipes sich an. Von Hause aus Jurist, hatte er unter Gauß und Bessel die Astronomie liebgewonnen, welche er seit 1825 als Privatmann auf seinem bei München gelegenen Gute betrieb. Gauß war es auch, der ihn auf die elektrische Telegraphie hinwies, und schon 1836 probierte er in dem seiner Leitung unterstellten mathematisch-physikalischen Kabinette der bayerischen Akademie den ersten Schreibtelegraphen. König Ludwig I. interessierte sich lebhaft für die neue Erfindung und veranlaßte, daß zwischen dem Laboratorium v. Steinheils einerseits, der Residenz und der 3 km entfernten Sternwarte v. Lamonts andererseits Leitungen hergestellt wurden. Gleich darauf besuchte der König seinen Akademiker und verlangte, daß dieser von den zwei genannten Orten die Antwort auf gewisse Fragen erhole, betreffs deren ersterer bereits eine Verabredung getroffen hatte. Als die beiden Depeschen prompt von dem Telegraphen wiedergegeben wurden, brach der Fürst in die Worte aus: „Danken Sie Gott, Steinheil, daß Sie nicht 300 Jahre früher

zur Welt gekommen sind; damals hätte man Sie als Hexenmeister verbrannt!" Die bayerische Regierung nahm nun auch die öffentliche Verwendung des neuen Verständigungsmittels in die Hand, und v. Steinheil erhielt den Auftrag, längs der kürzlich dem Verkehre übergebenen Bahnlinie Nürnberg-Fürth auch eine Telegraphenlinie herzustellen. Bei dieser Gelegenheit entdeckte er die Rückleitung im Boden, eine Thatsache von hoher wissenschaftlicher Bedeutung, die nebenher auch eine gewichtige Ersparnis an Baukosten einschloß. Auch den Feuernachtdienst hat er durch Verbindung der Turmwächter mit der telegraphischen Zentrale beträchtlich verbessert. Im Jahre 1849 schied v. Steinheil aus dem bayerischen Staatsdienste, um die Direktion des österreichischen Telegraphenwesens zu übernehmen, wie er auch die gleiche Organisation später in der Schweiz durchführte. Die Induktion als Kraftquelle wurde aufgegeben, als die den Vereinigten Staaten von S. F. Morse (1791—1872) erfundene Schreibtelegraphie seit 1844 die großen Vorzüge dargethan hatte, welche die Stromunterbrechung durch einen Hufeisenmagneten mit Anker gewährt. Die aus Punkten und Strichen kombinierte Schreibmethode Morses hat sich gleichfalls durchgesetzt. Allenthalben wurde natürlich auch, im Sinne v. Steinheils, die Rückleitung dadurch bewerkstelligt, daß man an den Stationen Platten in die Erde einsenkte; daß letztere als Leiter der Elektrizität zu gelten hat, war zwar schon von Winkler und Lemonnier im 18. Jahrhundert, für den Volta-Strom auch speziell von P. Erman nachgewiesen worden, aber auf große Entfernungen hatte man den Ausgleich für unmöglich gehalten. Ob in Wirklichkeit auch bloß die Eigenschaft des Erdbodens, die Elektrizität fortzuleiten, die maßgebende Ursache sei, oder ob sich dieselbe noch mit anderen Faktoren verbinde, das blieb zunächst eine offene Frage, und auch die neueste Zeit sieht in diesem Punkte noch nicht völlig klar. Jedenfalls waren für manche Zwecke unterirdische Leitungen nicht ganz zu missen, und daß diese manchen Störungen ausgesetzt seien, wenn man die Metalldrähte einfach in die Erde lege, leuchtete ohne weiteres ein. Da erfand der preußische Artillerieoffizier Werner Siemens (1816—1892) die musterhafte Isolierung durch Kautschukumhüllung, die

sich nicht minder bewährte, als 1848 im Kieler Hafen elektrische Seeminen gelegt wurden, und die, wie jetzt männiglich bekannt, allein die Möglichkeit ozeanischer Grundkabel verbürgte. Wie man in solchen unterseeischen Leitungen Beschädigungen zu erkennen und zu heben vermöge, zeigte Siemens noch im gleichen Jahre. Im August 1850 wurde die Kabelverbindung Dover-Calais eingerichtet, und obwohl anfänglich zum öfteren Zerreißungen vorkamen, so wußte man diesen Hemmnissen bald erfolgreich zu begegnen. Die weiteren Fortschritte der galvanischen Telegraphie würden uns über den Zeitraum, auf den wir uns hier zu beschränken haben, weit hinausführen, und überhaupt dürfte den Anwendungen des Stromes durch unsere bisherige Darstellung genügend Rechnung getragen sein.

Dagegen übrigt uns die Pflicht, der Theorie der statischen Elektrizität, so wie sie sich in der ersten Hälfte des neuen Jahrhunderts herausgebildet hatte, einige Worte zu widmen. Im großen und ganzen war die geistige Bewegung auf diesem Arbeitsfelde im Anfange keine sehr lebhafte; es fehlte an den Handhaben für den höheren Kalkül, und nur wenige der großen französischen Mathematiker, die doch sonst so eifrig nach Gelegenheiten zur Bethätigung ihrer analytischen Virtuosität suchten, zogen auch die Elektrizitätslehre in den Kreis ihrer Bestrebungen. Das Problem der Verteilung statischer Elektrizität auf geometrischen Flächen, die naturgemäß geschlossen und stetig gekrümmt sein müssen, behandelte erfolgreich Poisson, indem er es als einen Ausfluß der Theorie jener merkwürdigen Funktion auffaßte, welche uns als Potential im zweiten Kapitel begegnet ist. Er bewies als der erste für dieselbe die Existenz einer partiellen Differentialgleichung, von der sein großer Vorgänger Laplace nur einen besonderen Fall betrachtet hatte. Das geschah im Jahre 1811, und erst 1828 begann Green, den wir auch bereits kennen, mit einer mehr systematischen Darstellung der theoretischen Elektrostatik vorzugehen. Ob Gauß, der 1839 seine sehr allgemeinen Untersuchungen über die nach dem Newtonschen Gesetze wirkenden Kräfte publizierte, Greens Arbeiten kannte, ist, da letztere selbst in England nur ganz geringe Verbreitung gefunden hatten, mindestens zweifelhaft:

jedenfalls ist seine Diskussion der sogenannten Niveauflächen, für deren sämtliche Punkte die Potentialfunktion den gleichen Wert besitzt, für die Zukunft geradezu bahnbrechend geworden. Den von Ohm noch in etwas versteckter Form verwerteten Potentialbegriff führten Kirchhoff und Clausius mit vollem Bewußtsein in die Lehre von der strömenden Elektrizität ein. Ganz eigenartige, der Mathematik anscheinend unzugängliche Vorstellungen vom Wesen der elektrischen Kraftübertragung hatte sich Faraday gebildet, und wir werden sehen, daß dieselben sich einen Geltungskreis errungen haben, wie es von den Zeitgenossen des Meisters für sehr unwahrscheinlich erklärt worden wäre.

Hiermit haben wir die verschiedenen Zweige der Physik durchmustert und aus der Vielzahl von Bereicherungen unseres Wissens, welche in unsere Periode fallen, diejenigen herausgehoben, welche allgemeinerer Beachtung besonders würdig erscheinen. Der didaktischen Litteratur ist gleich eingangs Erwähnung geschehen; wir dürfen wohl behaupten, daß dieselbe die gewaltigen Fortschritte, welche das physikalische Denken seit 50 Jahren gemacht hatte, am klarsten wiederspiegelt, und daß, wer eine völlig umfassende Geschichte der Experimentalphysik in dieser Zeit schreiben will, neben den selbständigen Abhandlungen auch die Lehrbücher zu berücksichtigen gehalten ist. Ihnen reiht sich die als litterargeschichtliches Repertorium auch dem modernen Forscher kaum entbehrliche zweite Auflage jenes physikalischen Wörterbuches an, welches J. S. T. Gehler (1751—1795) von 1787 bis 1795 herausgab; Muncke übernahm die Oberleitung, und ihm ordneten sich als Mitarbeiter unter Pfaff, L. G. Gmelin (1792—1872), J. K. Horner und Brandes, nach dessen Tode J. J. v. Littrow eintrat. Die Vollendung zog sich etwas lange hin, denn der ersten Lieferung von 1825 folgte der Schlußband erst 1844 nach, und es sind auch die einzelnen Beiträge durchaus nicht gleichwertig. Gmelins chemische Artikel z. B. zeichnen sich meist durch eine gar zu lapidare Kürze aus; dem gegenüber haben sich Muncke und v. Littrow die redlichste Mühe gegeben, ihren Stoff erschöpfend abzuhandeln, und auch Horners Artikel „Magnetismus" kann getrost jedem Vorwärtsstrebenden zur erstmaligen tieferen Einarbeitung in die

Hände gegeben werden. In Summa also ein Werk, welches der deutschen Fachschriftstellerei alle Ehre macht! Deutschland lieferte auch das Organ, welches damals die Physik schon geradezu international zusammenhielt und seitdem mit seinen höheren Zielen noch immer mehr gewachsen ist. Gewiß haben auch die „Annales de Chimie et de Physique“, Nicholsons „Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts“, Brugnatellis „Giornale di fisica, chimica e storia naturale“ und die von A. v. Baumgartner (1793—1865) und K. A. v. Ettingshausen (1796 bis 1878) herausgegebene (österreichische) „Zeitschrift für Physik und Mathematik“ ihre Aufgabe erfüllt, aber die Hauptzeitschrift sind doch stets die von Gilbert auf Poggendorff übergegangenen „Annalen der Physik und Chemie“ geblieben. Verhältnismäßig wenig entwickelt war noch die geschichtliche Forschung. Whewells treffliche „Geschichte der induktiven Wissenschaften“ reicht nicht mehr sehr weit ins 19. Jahrhundert herein, und daß die „Geschichte der Physik“ (1. Band, Göttingen 1799) von F. W. A. Murhard (1779—1853) ein Torso blieb, ist nicht so sehr zu beklagen, weil dem Verfasser der Sinn für Systematik und Architektonik so gut wie ganz fehlte. Wirklich verdienstlich darf hingegen die „Geschichte der Optik“ (Berlin 1838—1843) von H. E. Wilde (1793—1859) genannt werden. In den vierziger Jahren begann Poggendorff sein historisch-physikalisches Kolleg an der Berliner Hochschule zu lesen, welches weit über eine Generation jugendlicher Geister gebildet und ihnen Sinn dafür eingeflößt hat, daß auch die naturwissenschaftliche Forschung auf dem von den Altvordern bereiteten Boden steht und mit der Geistesarbeit vergangener Zeiten in steter Fühlung zu verbleiben suchen soll.

Neuntes Kapitel.

Die Chemie vor der Trennung in ihre beiden Hauptbestandteile.

Die der neuesten Zeit geläufig gewordene Einteilung der Chemie in eine anorganische und organische hat sich erst ganz allmählich Anerkennung verschafft. Zweifellos gehen die Anfänge der organischen Chemie in eine ziemlich frühe Zeit zurück, und man könnte mit einigem Rechte bereits das Jahr 1828, in welches die gleich nachher zu besprechende fundamentale Entdeckung Woehlers fällt, als den Ausgangspunkt der Scheidung hinstellen. Indessen wäre das doch kaum eine richtige historische Grenze. Denn wenn auch mehrere der hervorragendsten Chemiker der dreißiger und vierziger Jahre gerne bei der Zerlegung und Wiederzusammensetzung organischer Körper verweilten, und wenn auch Berzelius den Nachweis geführt hatte, daß die Gesetze der chemischen Atomistik für anorganische und organische Substanzen gleichmäßig zu Recht bestehen, so war doch trotzdem — oder vielleicht eben deshalb — von einer bewußt eingeräumten Sonderstellung der jüngeren Disziplin keine Rede. Eine solche ergab sich erst, als man sich mehr und mehr des Umstandes bewußt ward, daß die organische Chemie mit einer Chemie der Kohlenwasserstoffe identisch und infolge desselben von solcher Geschlossenheit und inneren Selbständigkeit ist, daß sie nicht mehr gut als ein bloßes Spezialkapitel im Rahmen der Gesamtwissenschaft mitgeführt werden konnte. Immerhin ist die Trennung nicht sowohl eine

prinzipielle, sondern mehr eine durch äußere Gründe veranlaßte, indem eben die organische Chemie rasch zu einem solchen Umfange und zugleich zu so hoher Wichtigkeit für die theoretisch-chemischen Anschauungen gelangt ist, daß sie gebieterisch ihren eigenen Platz unter der Sonne erheischte, wie denn auch die große Mehrzahl der modernen Chemiker vorzugsweise auf organischem Gebiete arbeitet. Man wird annehmen dürfen, daß eine gewisse Suprematie der jüngeren Schwester in den fünfziger Jahren hervorzutreten begann, und wir werden deshalb gut daran thun, um diese Zeit herum die untere Grenze dieses Abschnittes anzusetzen, wenn auch an derselben eine gewisse Willkürlichkeit haften mag. In das Jahr 1852 fällt die Berufung Liebigs nach München, und es wird nicht bestritten werden können, daß von diesem Zeitpunkte aus gerade die organische Chemie, die nun auch einen immer größeren Kreis von Anwendungen erschlossen erhielt, sehr namhafte Fortschritte machte. Es mag deshalb dieser Markstein für den Inhalt des gegenwärtigen Abschnittes, und zwar um so eher als solcher aufgerichtet werden, weil das genannte Jahr ziemlich gut mit denjenigen Zeitgrenzen übereinstimmt, bis zu denen wir weiter oben die Berichterstattung über die anderen Zweige der Naturwissenschaft fortgeführt haben.

Eine erläuternde Bemerkung können wir dabei nicht unterdrücken. Dem Fernerstehenden möchte es vielleicht als eine Inkonsequenz erscheinen, daß ein Buch, welches programmgemäß und nach dem klaren Sinne der Titelworte die Geschichte der anorganischen Naturwissenschaft darzustellen bestimmt ist, gleichwohl auf die organische Chemie ausgedehnt werden soll. Wir deuteten schon an, daß der in der Ausdrucksweise gelegene Gegensatz lediglich ein konventioneller und kein wirklicher ist, daß vielmehr auf alle uns bisher bekannten Körper, mögen sie nun, wie man früher sagte, dem Mineral-, Pflanzen- oder Tierreiche entstammen, die allgemeinen chemischen Gesetze ganz gleichmäßig Anwendung finden. Die pflanzlichen und tierischen Körper bauen sich nun aber, insoweit überhaupt ihre Sonderart in Betracht kommt, hauptsächlich aus Kohlenwasserstoffen auf, und es hätte deshalb, insbesondere eben zur Hintanhaltung von Mißverständ-

nissen, vieles für sich, statt von einer organischen schlechthin von einer Chemie der Kohlenstoffverbindungen zu sprechen, wie dies denn auch schon wiederholt angeregt und durchgeführt worden ist.

Durch Lavoisier war, wie unsere geschichtliche Einleitung darlegte, der Markstein aufgerichtet worden, welcher die moderne, antiphlogistische Chemie von derjenigen der Vergangenheit schied. Anerkannt war, was ja freilich schon einzelne Scholastiker behauptet hatten, ohne aber daran weitere Folgerungen zu knüpfen, die Konstanz und Unzerstörbarkeit des Stoffes; in chemischen Verbindungen wird niemals ein noch so kleiner Teil der Materie vernichtet und ebensowenig neu geschaffen, sondern es treten nur Metamorphosen hervor, so daß, wenn sämtliche Körper, welche die Verbindung bilden, mit Ausnahme eines einzigen gegeben sind, dieser letzte ebenfalls muß gefunden werden können. Was man Säure nannte, schien Sauerstoff enthalten zu müssen, verbunden mit einer Base oder einem Radikale, welches in der Regel als nicht weiter zerlegbar, als ein Element, galt, diese Eigenschaft aber nicht notwendig an sich haben muß. So ließ sich also, wie dies Lavoisier, Berthollet und Guyton de Morveau in ihren Versuchen zur Verbesserung der chemischen Nomenklatur anstrebten, eine Tafel der Elemente, der einfachen Körper, aufstellen; völlig korrekt konnte dieselbe aus nahe liegenden Gründen nicht ausfallen, denn die Alkalien vermochte man einstweilen noch nicht zu zerlegen und mußte sie deswegen wohl oder übel als einfache Grundsubstanzen gelten lassen. Auch Wärme und Licht, deren stofflicher Charakter damals noch kaum angezweifelt wurde, fanden in der Tabelle der Elemente ihren Platz. Eine weitere Gruppe bildeten die binären Verbindungen, in die bloß zwei Stoffe eingegangen sind, die Sauerstoff-, Schwefel-, Phosphor- und Kohlenstoffverbindungen. Dann folgten als ternäre Verbindungen die Salze, über welche hinauszugehen kein besonderer Anlaß vorlag, weil man kompliziertere Anordnungen noch wenig kannte.

Diesem neuen Systeme, in welchem man deutlich die Keime aller jener Anschauungen und Bezeichnungen wahrnimmt, welche

in unseren Tagen die Chemie beherrschen, verschafften die Bemühungen jener ausgezeichneten Chemiker Eingang, welche auch nach Lavoisiers beklagenswertem Tode Frankreich zum führenden Staate in dieser Wissenschaft gemacht haben — Fourcroy, L. N. Vauquelin (1763—1829), Berthollet. Unter ihrer Ägide entstanden die „Annales de Chimie", mit deren Schaffung man sich von den schon vorhandenen, teilweise aber auch anderen Gebieten gewidmeten periodischen Zeitschriften frei gemacht und den neuen Methoden ein Organ gegeben hatte, welches zu deren weiterer Ausgestaltung sofort Bedeutendes leistete, sich aber auch seine Bedeutung für Jahrzehnte bewahrte. Bald sollten die französischen Forscher Gelegenheit bekommen, in einem tief gehenden Streite über die Grundprinzipien ihres Faches Stellung zu nehmen, in der Polemik nämlich, die sich zwischen C. L. Berthollet und J. L. Proust (1755—1826) entspann. Des Erstgenannten „Essai sur la statique chimique" erschien 1803 und war dazu bestimmt, die Gesetze, nach welchen chemische Verbindungen sich bilden, zu entschleiern. Von den fruchtbringenden Ideen Richters, der sich ja erwähntermaßen ein ganz ähnliches Ziel gesetzt hatte, nahm man natürlich, wie es in jener Zeit üblich war, jenseits des Rheins keine Notiz.

Zunächst handelte es sich um das Wesen der chemischen Affinität, von welcher der Schwede Torbern Bergman behauptet hatte, sie sei von der Masse der einander beeinflussenden Körper ganz und gar unabhängig. Berthollet umgekehrt hielt dafür, daß Wirkung und Masse einander proportional seien. Wenn eine gewisse Menge einer Substanz in eine Verbindung eingeht, so soll der Effekt ersterer gleich sein dem Produkte aus jener Menge in die chemische Affinität. Dieses Produkt wurde chemische Masse genannt. Kohäsion und Elastizität sind nach Berthollet die beiden Kräfte, welche das intermolekulare Verhalten der Körper regeln. Es leuchtet ein, daß nach dieser Auffassung, welche ein ganz neues Moment als das eigentlich maßgebende einzuführen willens war, zwei verschiedene Stoffe sich nicht nach einem konstanten, unter allen Umständen unveränderlichen Verhältnis miteinander verbinden konnten; wäre dies der Fall, so

wäre ja die Masse einflußlos. Eine arithmetische Stöchiometrie mußte, wenn Berthollet im Rechte war, für unmöglich erklärt werden; chemische Kräfte kamen nicht allein ins Spiel, sondern standen mit solchen, die man bisher für rein physikalisch gehalten hatte, in steter Wechselwirkung. Hierin lag zweifellos ein gesundes, der Weiterentwicklung fähiges Prinzip, das in einer sehr viel späteren Zeit auch wirklich wieder zur Geltung kam; vorläufig aber mußte die Chemie, welche soeben erst großes Gewicht auf den Umstand zu legen gelernt hatte, daß auch in ihrem Bereiche alle Erscheinungen nach Maß und Zahl begriffen werden können, in Berthollets Annahme, verschiedene Stoffe brauchten nicht immer im gleichen Verhältnis sich zu einer Verbindung zu vereinigen, einen gewissen Rückschritt erblicken. Gegen diesen Satz wandte sich vor allem Proust, für den es keine leichte Sache war, einem Gelehrten von solchem Rufe, wie ihn der berühmte Savoyer damals schon hatte, entgegenzutreten. Allein wenn der Angreifer auch hinsichtlich der Weite der Gesichtspunkte und der philosophischen Tiefe hinter seinem Gegner zurückstehen mochte, so war er diesem doch eher überlegen in der eigentlichen Technik der chemischen Operationen, und so wurde es ihm möglich, gewisse Fehlerquellen zu verstopfen, deren Nichtberücksichtigung Berthollet zu unzutreffenden Schlüssen geführt hatte.

Der letztere war nämlich bei seinen Analysen noch nicht mit jener Vorsicht verfahren, deren Beobachtung sich erst allmählich als eine Notwendigkeit aufdrängte, und so befanden sich in den Körpern, welche er der Zerlegung unterwarf, auch fremdartige Substanzen, die von Rechts wegen gleich anfangs hätten beseitigt werden sollen. Das war nicht geschehen, und so mußte ihr Vorhandensein notwendig das Ergebnis der Analyse trüben. Nach dieser Richtung hin waren die Maßnahmen Prousts mustergiltig, und so vermochte er den Nachweis zu führen, daß die Sauerstoffverbindungen, welche der Oxydation der Metalle entsprechen, stets das nämliche Verhältnis bewahren. Die Möglichkeit, daß ein und dasselbe Metall zwei Oxyde liefern kann, trat ebenfalls jetzt erst zu Tage. Prousts Verdienst ist es nicht minder, die Verbindungen der Metalle, in erster Linie des Goldes, nach einheitlichen

Normen studiert zu haben. Wäre die entgegengesetzte Ansicht die korrekte, so würde man auf eine rationelle Chemie schließlich ganz verzichten müssen; Proust inaugurierte somit recht eigentlich eine exakte Richtung, wie sie von Richter bereits vorgezeichnet war, von Dalton und Berzelius aber zu höherer Vollendung gebracht wurde. Diese Untersuchungen fallen wesentlich in die spanische Periode Prousts, der bis zu den Kriegsjahren ein ausgezeichnet eingerichtetes Laboratorium in Madrid leitete, durch den Aufstand aber aus einem gesegneten Wirkungskreise vertrieben ward.

Aber wenn Berthollet auch in einer Hauptsache unterlag, so hatte er gleichwohl so viel erreicht, daß jene Affinitätstafeln, die seit Bergman sich einer gewissen Achtung erfreuten, als ein überflüssiger Ballast aus den Lehrbüchern verschwanden. Als scharfsinniger Denker räumte er auch das Feld durchaus nicht ohne Widerstand, und die von ihm aufgestellte Forderung, es solle der Unterschied zwischen Gemenge und Verbindung durch eine strenge Definition festgelegt werden, war sachlich gewiß eine ganz berechtigte. Wie wollte denn auch eine Zeit, welche das mächtige Agens des galvanischen Stromes nur erst unvollkommen kannte, darüber klar werden, daß atmosphärische Luft nur ein mechanisches Gemenge aus Stickstoff und Sauerstoff, Wasser dagegen eine echte chemische Verbindung aus Sauerstoff und Wasserstoff ist? Die gesuchte generelle Scheidung zwischen der loseren und der innigeren Form, in welcher sich die Partikeln verschiedener Körper durchdringen können, ließ sich einstweilen noch nicht geben, aber Proust hat damit doch einen guten Anfang gemacht. So drang er schließlich gegen die größte zeitgenössische Autorität mehr und mehr durch; Gay Lussac stellte sich entschieden auf seine Seite; von deutschen Fachgenossen griff der vielleicht bedeutendste unter den Lebenden, M. H. Klaproth, bekannt durch seine ausgezeichnete Analyse der Karlsbader Quellen, auf Richters fast noch unbekannte Arbeiten zurück. Die Kontroverse zog sich mehrere Jahre hin und endete erst um 1807 in der Weise, daß Berthollets radikale, im Sinne einer systematischen Fortbildung der Scheidekunst sogar fast nihilistisch zu nennende Theorie ihre anfängliche

Geltung einbüßte. A. Ladenburg (geb. 1842), der diese überaus interessante Durchgangsphase der noch jugendlichen Wissenschaft ausführlicher als andere Historiker der Chemie abgehandelt hat, bemerkt, daß jene alle Fälle umfassende Begriffsbestimmung, wie sie ganz mit Recht verlangt worden ist, auch jetzt noch aussteht, und daß man sich, um das Wesen einer chemischen Verbindung festzustellen, mit indirekten Kennzeichen behelfen muß, die auch nicht immer als ganz eindeutig angesehen werden können. Glücklicherweise hat sich jedoch die atomistische Theorie durch begriffliche Schwierigkeiten, die nun einmal keiner Wissenschaft fehlen, nicht abhalten lassen, ihren Weg zu machen und so bei einer Entwicklung die wichtigsten Dienste zu leisten, welche mit der Zeit sicher auch dazu verhelfen wird, die noch vorhandenen Lücken auszufüllen.

Noch im ersten Dezennium des 19. Jahrhunderts war es also so gut wie gewiß, daß die Körper sich in stets gleich bleibenden Gewichtsverhältnissen verbinden, und damit war der Boden aufnahmefähig gemacht für die Neuerung, mit welcher der Engländer Dalton, von der Meteorologie her uns bereits wohl bekannt, im Jahre 1804 hervortrat. Ihm ward das Glück zu teil, daß der Verfasser eines weit verbreiteten Handbuches, welches von E. Wolff ins Deutsche, von Riffault ins Französische übertragen ward, Daltons Lehren schon verbreitete, ehe die eigentlich grundlegende Abhandlung der Öffentlichkeit übergeben war. Th. Thomsons (1773—1852) „System of Chemistry" hat sich in dieser Beziehung ein wirkliches Verdienst erworben, denn des Meisters eigene Arbeiten, nur stückweise und in großen Zeitabständen veröffentlicht, hätten schwerlich einen durchgreifenden Erfolg gehabt, wenn ihnen nicht in so trefflicher Weise vorgearbeitet gewesen wäre. Von Richter hat Dalton nach eigener Aussage keine Anregung empfangen; er bildete sich vielmehr seine Anschauungen in der Praxis, als er das ölbildende Gas (Aethylen) und die als Methan bekannte Modalität des Kohlenwasserstoffes zu untersuchen hatte. In beiden entdeckte er ausschließlich Kohlenstoff und Wasserstoff, aber ein gewisses Quantum der erstgenannten Substanz verband sich im zweiten Falle immer mit dem doppelten

Quantum Wasserstoff, das im ersten Falle benötigt wurde. Es lag da ein immer wiederkehrendes Zahlenverhältnis vor, dessen Konstanz dazu auffordern mußte, nun auch bei anderen Verbindungen Analogieen aufzuspüren, und dies gelang bei Kohlenoxyd und Kohlensäure; das Verhältnis 1 : 2 von vorhin fand sich auch hier vor, indem nur, während der Kohlenstoff seine Rolle beibehielt, an die Stelle des Wasserstoffes der Sauerstoff trat. Dalton hatte für eine Reihe von Spezialfällen, die sich rasch vergrößerte, das Gesetz der multiplen Proportionen gefunden, und daß dieses eine dynamische Erklärung nicht zulasse, wohl aber selbst die Grundlage einer rationellen Atomistik abgeben könne, war ihm bald deutlich geworden. Wenn man sich die Materie aus Atomen, d. h. aus einfachen, qualitätslosen Elementarbestandteilen zusammengesetzt dachte, dann bot jenes Gebundensein der chemischen Vereinigung an feste Zahlenverhältnisse kein Rätsel dar. Die Atome verschiedener Elemente schlossen sich nach eben diesen Verhältnissen ein- für allemal aneinander; das Wie? des Aufgehens derselben in einem ganz neuartigen Körper durfte vorläufig unerörtert bleiben. Wenn Dalton die einzelnen Atome kugelförmig voraussetzte, so war er nur zu den gesunden atomistischen Grundlehren zurückgekehrt, welche im Altertum Epikur und Lucretius vertreten hatten, und die zu Anfang des 17. Jahrhunderts Gassand — irrtümlicherweise gewöhnlich Gassendi genannt — in trefflicher, leider zu wenig gewürdigter Form neu hatte aufleben lassen; sehr im Gegensatze zu den gezwungenen Hypothesen der Folgezeit, welche die Atome mit Fühlfäden, Flimmerhaaren, Häkchen u. dergl. ausrüsteten und sich dadurch von der Fundamentalregel einer einfachen Erklärung der Naturvorgänge nur allzu weit entfernten.

Von Dalton stammt auch der Begriff Atomgewicht und der fast axiomatischen Charakter tragende Erfahrungssatz, daß das Atomgewicht einer Verbindung der Summe der Atomgewichte der in jene eingegangenen einfachen Körper gleich ist. Allerdings waren seine Versuche, derartige Gewichte, auf das Atomgewicht des Wasserstoffes als Einheit bezogen, numerisch auszumitteln, noch von keinem durchschlagenden Erfolge gekrönt, und auch die chemische

Zeichensprache, welche er in Vorschlag brachte, hat sich nicht durchzusetzen vermocht. Immerhin war doch ein großer Erfolg erzielt, indem eine Wissenschaft, in der vor wenigen Jahren noch dem Zufalle ein großer Spielraum gegönnt schien, eine zuverlässige, mathematische Begründung erfahren hatte. Zum äußeren Erfolge trug neben Thomson besonders Wollaston bei, obwohl die von ihm gebrauchte Terminologie nicht so klar wie die ursprüngliche war. Die Probe freilich hatte die atomistische Hypothese bislang lediglich bei ganz niedrigen Zahlen der Atomverbindung bestanden; ob sich m Atome eines bestimmten Elementes mit n Atomen eines anderen Elementes verbinden könnten, blieb, falls nicht m = 1 und n eine kleine ganze Zahl bedeutete, unentschieden. Über Dalton ging zuerst Gay-Lussac hinaus, der durch seine — uns aus dem vorigen Abschnitte erinnerlichen — Studien über den Zusammenhang zwischen Druck, Volumen und Temperatur der Gase von selber auf die Frage nach der inneren Struktur der im gasförmigen Zustande befindlichen Körper hingeleitet worden war. Er bewies, daß z. B. zwei Raumteile Kohlensäure sich unter allen Umständen aus 1 Raumteil Sauerstoff und zwei Raumteilen Kohlenoxyd zusammensetzen, und daß allenthalben im Bereiche der Gase analoge einfachste Beziehungen obwalten. Darüber, daß diese letzteren nur eine Konsequenz der Atomtheorie seien, hegte Gay-Lussac keinen Zweifel, aber Dalton selbst wollte ihm hierin nicht beistimmen. Er gab nicht zu, daß für Volumina richtig sein könne, was er für seine Atome dargethan zu haben glaubte; Gay-Lussac sei nur dann im Rechte, wenn er zeige, daß alle Gase in gleichem Raume eine gleiche Menge von Atomen enthielten. Der Einwurf war nach dem damaligen Wissensstande kein leicht zu nehmender, aber durch die früher erwähnte Entdeckung des Grafen Avogadro verlor die anscheinende Diskrepanz zwischen den Schlüssen des britischen und des französischen Chemikers ihren bedrohlichen Charakter. Denn diese Entdeckung gipfelte ja eben in der Annahme, daß, modern gesprochen, gleiche Räume bei sämtlichen Gasen von einer gleichen Anzahl von Molekülen erfüllt zu denken sind. Der später so geläufig gewordene Gegensatz zwischen Atom und Molekül ist von Avogadro erstmalig betont worden;

er stellt die „molécules élémentaires“ den „molécules intégrantes“ gegenüber; die ersteren seien als die physikalischen, die letzteren als die chemischen Atome zu betrachten. Obwohl aber auch Ampère die hier angedeutete Unterscheidung billigte, fehlte doch zunächst noch der Zeit das Verständnis für ein solch tieferes Eingehen in die Eigentümlichkeiten der Korpuskularwelt, und auch Wollastons den Atomen substituierte Äquivalente erfüllten den Zweck nicht, eine klarere Basis der Stöchiometrie zu erschaffen, als sie von Dalton gelegt war. Es blieb einer späteren Zeit vorbehalten, Avogadros gesunden Spekulationen ihren Platz in der wissenschaftlichen Systematik anzuweisen.

Auch zogen fürs erste Erfindungen von unmittelbar praktischer Bedeutsamkeit die Fachmänner mehr als Erörterungen an, die angesichts des Schadens, welchen naturphilosophische Träume in manchen Köpfen anrichteten, den Empirikern vielfach zu sehr den Eindruck transszendentaler Übergriffe in ein unserer Erkenntnis verschlossenes Gebiet machen mochten. Sir Humphry Davy, einer der glücklichsten Entdecker, dem schon an der Jahrhundertwende die Darstellung des Stickstoffoxydubls als eines in seiner Art unübertrefflichen Narkotikums — Lachgas, Luftgas — und damit die sehr wesentliche Vervollkommnung eines schon von Priestley gemachten Fundes geglückt war, fand mit Hilfe einer neuen Methode die Alkalimetalle auf, und wenn man bedenkt, daß noch kurz zuvor von einer Zerlegung der Alkalien gänzlich Abstand genommen werden mußte, so wird man das frohe Staunen des Zeitalters über einen Fortschritt von solcher Tragweite unschwer begreifen. Die Elektrolyse war, wie uns die geschichtlich-physikalische Skizze ersehen ließ, im Jahre 1800 bekannt geworden, aber erst Davy machte von den Machtmitteln, welche Volta der Zerlegungskunst zur Verfügung gestellt hatte, umfassenden Gebrauch. Auch er begann mit der Wasserzersetzung; allein indem er den Prozeß in Gefäßen von verschiedener stofflicher Beschaffenheit vor sich gehen ließ, nahm er wahr, daß auch die Wandung durch den Strom angegriffen und daß durch die hierbei auftretenden Zersetzungsprodukte die Reinheit des erwarteten Resultates getrübt wird. Jetzt wurde man auch auf eine experimentelle Arbeit aufmerksam,

die schon 1803 von dem jungen Schweden Berzelius und seinem Landsmanne W. Hisinger (1766—1852) gemeinschaftlich ausgeführt worden war und gleicherweise die Zersetzung von Salzen durch den Voltastrom zum Ziele gehabt hatte. Es hat zwar Davy selbst von diesen seinen Vorgängern niemals so, wie es billig gewesen wäre, Notiz genommen. Freilich ist auch nicht zu leugnen, daß er, der nicht wie Berzelius auf kleine Verhältnisse beschränkt war, seine Untersuchungen auch in einem Maße variieren und verallgemeinern konnte, daß dadurch allein bereits wertvolle Ergebnisse verbürgt erschienen. Berzelius hatte in seiner Armut sich selber eine Säule aus Kupferplatten aufgebaut; Davys Batterieen andererseits konnte kein noch so konsistenter Körper Widerstand leisten, und nachdem sogar das Glas aufgelöst worden war, durfte er sich auch an die Alkalien wagen, um zu sehen, ob sie, die bisher allen Versuchen Trotz geboten hatten, sie in Urbestandteile zu zerfällen, selbst der Voltaelektrizität gegenüber ihre Sprödigkeit bewahren würden. Nach mehreren gelungenen Vorversuchen wurde geschmolzenes Ätzkali dem Strome ausgesetzt, und da bildeten sich denn kleine metallische Kugeln, die an der Luft unter namhafter Lichtentwicklung verbrannten. Es war nicht leicht, diese Stoffe in festerem Zustande zu erhalten, um sie für sich untersuchen zu können, aber Davy machte auch dies möglich und stand zwei neuen, bisher noch unbekannten Substanzen gegenüber, denen er die Namen Potassium und Sodium beilegte. Dieselben fanden zuerst Anklang; in einem Briefe A. v. Humboldts an Pictet vom 26. Mai 1808 wird Gay-Lussac als „Potasche“, L. J. Thénard (1777—1857) als „Soda“, Berthollet als „Ammoniak“ bezeichnet, weil von letzterem auch eine als besonders wertvoll geltende Untersuchung des Ammoniums herrührte. Man bedurfte, wie natürlich, einiger Zeit, um über das Wesen der von Davy dargestellten Körper Klarheit zu erhalten. Davy erblickte in den Alkalien Metalloxyde und in seinem Potassium und Sodium eben die entsprechenden Metalle, wogegen Gay-Lussac und Thénard zuerst an Wasserstoffverbindungen dachten und erst nachträglich auch ihrerseits zu der ersterwähnten Ansicht übergingen. Die beiden Alkalimetalle, deren Elementarnatur bald nicht mehr

bezweifelt wurde, haben später die Namen Kalium und Natrium empfangen. Überhaupt nahm die Anzahl derjenigen Körper, welche als primitiv und weiterer chemischer Zerlegung unfähig anerkannt werden mußten, mehr und mehr zu. Die Bedenken, welche noch gegen Phosphor und Schwefel in Bezug auf ihre Zuteilung zu den Grundstoffen obwalten mochten, wurden endgiltig durch das Dioskurenpaar Gay-Lussac und Thénard zerstreut. Nur dem Chlor wurde sein Recht noch nicht zu teil. Der ältere (N. E.) Henry (1769—1832) hatte sich, ebenso wie Davy, eingehend mit der Chlorwasserstoffsäure beschäftigt, und durch Interpretation dieser, wie auch ihrer eigenen Versuche verfielen Gay-Lussac und Thénard auf die anscheinend allen Erscheinungen gerecht werdende Hypothese, daß Chlor wasserfreie Salzsäure mit Sauerstoff sei; die gasförmige Salzsäure sollte dadurch gebildet sein, daß ein sonst nicht näher bekanntes Radikal, das Muriatikum, mit Sauerstoff und Wasser in Verbindung trat. Zwar tauchte in der Diskussion auch der Hinweis auf die Möglichkeit auf, daß Chlor („acide muriatique oxygené“) vielleicht ein einfacher Körper sei, welcher zusammen mit Wasserstoff die Salzsäure liefere, allein vorläufig schien die ältere Auffassung, welche auch bereits diejenige Scheeles gewesen war, eine befriedigendere Erklärung zu verbürgen. Gay-Lussac und Thénard wurden in ihrer Abneigung, das Chlor den Elementen beizugesellen, namentlich auch durch ihre in diesem Punkte allzu große Verehrung Lavoisiers bestärkt, der den eine Zeit lang dogmatisch nachwirkenden Satz aufgestellt hatte, daß in allen Säuren Sauerstoff enthalten sein müsse.

Die Wendung in den Anschauungen konnte gleichwohl nicht lange mehr ausbleiben. B. Courtois (1777—1838) hatte im Jahre 1804 bereits folgenreiche chemische Studien über den als Opium bekannten Mohnextrakt begonnen und muß nach Vauquelin als der Entdecker jener für die Heilkunde so ungemein wichtigen Pflanzenbase bezeichnet werden, welche als Morphin (Morphium) bekannt geworden ist. Im Jahre 1812 wurde Courtois auf einen weiteren neuen Stoff geführt, den Clément, der als Physiker noch mehr denn als Chemiker hervorgetretene Gelehrte, dem Nationalinstitute vorlegte; die Ähnlichkeit der Farbe

dieses Körpers mit derjenigen eines Veilchens verschaffte ihm den Namen Jod (ἰωειδής). Noch wußte man nicht recht, was man eigentlich vor sich habe, und wieder war es Gay-Lussac, dessen Scharfblick nicht nur die nächstliegende Frage, sondern gleich auch eine zweite, mit ihr im engsten Zusammenhange stehende zur Entscheidung brachte. Ihm fiel von Anfang an die große Analogie in dem Verhalten von Chlor und Jod auf, und obwohl selbst Berzelius noch daran festhielt, daß ersteres ein zusammengesetzter Körper sei, so siegte doch schließlich Gay-Lussacs Standpunkt, und die Tafel der chemischen Urstoffe wurde durch die beiden neuen Glieder Chlor und Jod bereichert. Gleich hier sei bemerkt, daß ein drittes, diesen beiden nahe verwandtes Element, das Brom (βρῶμος, starker Geruch), etwas später (1826) von A. J. Balard (1802—1876) aus dem Meerwasser ausgeschieden wurde; jetzt waren die Zweifel, welche man früher mit ganz berechtigtem kritischem Gefühle neuen Elementen entgegengebracht hatte, schon ganz erheblich abgeschwächt, und die Rezeption des Broms vollzog sich ohne Schwierigkeit. Gay-Lussacs virtuose Technik bewährte sich auch hier, als es sich um die Gewinnung größerer Stoffquantitäten handelte, und mit seinem Namen ist die Theorie jener drei enge verbundenen Primitivstoffe, für die der zusammenfassende Name Halogene üblich geworden ist, untrennbar verbunden.

Die ältere Säurentheorie hatte jetzt, obwohl Davy erst allmählich sich auf Gay-Lussacs Seite hinüberziehen ließ, den Todesstoß erhalten. Was Lavoisier für unmöglich erklärt hatte, war erwiesen; es gab sauerstofffreie Säuren („Hydracides“); hierunter anfänglich besonders Schwefelwasserstoff, Jodwasserstoff, Salzsäure und endlich noch eine ebenso interessante wie gefährliche Substanz, die Blausäure. Über den wesentlichen Bestandteil der letzteren, das als eine Verbindung von Sauerstoff und Stickstoff nachgewiesene Cyan, liegt eine Experimentaluntersuchung Gay-Lussacs aus dem Jahre 1815 vor, welche dem Urteile der Historiker der Chemie zufolge den Stempel der Klassizität an sich trägt. Es wurde darin zuerst erhärtet, daß der Begriff des Radikales nicht, wie man mutmaßte, an den des Elementes geknüpft ist, sondern daß es auch zusammengesetzte Radikale giebt. Über-

haupt ist jede der sehr zahlreichen Abhandlungen, welche von dem geistesgewaltigen Manne ausgingen, voll von wichtigen Fingerzeigen und Anregungen. Er liebte es, gemeinsam mit kongenialen Naturen zu arbeiten; wie viel Nützliches aus seiner Verbindung mit Thénard entsproß, haben wir genügend erfahren. In seinen physikalischen Arbeiten sind Biot und Arago seine Genossen; die Luftanalysen waren sein und A. v. Humboldts gemeinschaftliches Werk; der junge Liebig wurde von ihm bei seiner Jugendarbeit über knallsaure Salze mächtig gefördert. Gay-Lussacs Verdienst ist es auch, daß sich eine kraftvolle chemische Industrie entfalten konnte, denn von allem Anfang an wandte er der Technik und der Herstellung chemischer Präparate im großen Stile seine Aufmerksamkeit zu. Seine Erfindung ist großenteils das Titrieren, die quantitative, volumetrische Analyse, welche nicht im Sinne der älteren Methoden allein auf Gewichtsbestimmungen ausgeht, sondern mit genau nach ihrem körperlichen Inhalte bestimmten Gefäßen — Pipetten, Büretten — arbeitet. Kurz, Gay-Lussac steht sowohl in der vollkommenen Virtuosität des praktischen Chemikers, wie auch in der philosophischen Klarheit seines Denkens und seiner Schlußfolgerungen in dieser Periode, die etwa mit den zwei ersten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts zusammenfällt, unerreicht da. Der einzige, der ihm geistig völlig gleichkommt, ist Davy, allein die ganze Lebensart und Lebensauffassung des begüterten, auf häufigen Reisen seiner Gesundheit lebenden Mannes hinderten ihn an einer so intensiven Bethätigung seiner Geisteskräfte. Als später einmal Woehler sich gegen Berzelius über die niederdrückende Last der ihm aufliegenden wissenschaftlichen Verpflichtungen beklagte, tröstete ihn der Freund mit der Bemerkung, daß auch der Lohn für diese ungeheure Arbeit der entsprechende sein werde, und fügte bei, auch Davy würde mehr als bloß ein glänzendes Meteor gewesen sein, wenn sein Geschick ihn zu einer gleich energischen Anspannung seines Wollens und Könnens genötigt hätte.

Der Mann, der diese Worte schrieb, tritt jetzt entschiedener in unseren Gesichtskreis; wir haben von Berzelius auch in diesem Abschnitte schon zu sprechen gehabt, und im mineralogischen Abschnitte spielte das von ihm aufgestellte System sogar eine be-

herrschende Rolle. Durch Soederbaums Biographie ist uns der große schwedische Forscher, dessen Genie sich durch die drückendsten äußeren Umstände hindurch Bahn zu brechen imstande war, weit näher gerückt worden, obwohl ein besonders wichtiger Teil seines Briefwechsels der Publikation einstweilen noch entgegenharren muß. Zunächst allerdings werden wir erfahren, daß eine unhaltbare und in Frankreich bereits einigermaßen überholte Lehre gerade durch Berzelius noch vor dem Untergange geschützt worden ist, so daß sich hier also eine gewaltige Kraft in nutzlosem Ringen gegen ein nicht mehr abwendbares Verhängnis erschöpfte. Wäre es dem Geschichtschreiber vergönnt, überall die geheimsten Triebfedern und Leitmotive aufdecken zu können, so würde er vielleicht finden, daß gerade in einer Epoche, in welcher der Geist des Exakten seine höchsten Triumphe feierte, der naturphilosophische Zeitgeist doch nicht ohne allen Einfluß auf Diejenigen war, die ihrem Kausalitätsbedürfnis durch Nachdenken über die einer empirischen Behandlung unzugänglichen Grundfragen Rechnung tragen mußten. Lavoisier hatte das Phlogiston entthront und die feststehende Meinung entkräftet, daß es einen gewissen universalen Grundstoff gäbe, der, mit den verschiedensten Körpern in Verbindung tretend, diese chemisch verändere. Allein es wird sich nicht in Abrede stellen lassen, daß der Begründer der Antiphlogistik dafür einen anderen „Elementargeist“, wie sich die alchymistische Schule ausgedrückt haben würde, auf den Thron erhoben hatte, den das Phlogiston räumen mußte. Lavoisiers Theorie der Salze, wie wir sie kennen gelernt haben, wird zur Rechtfertigung dieser unserer Behauptung genügen; es sollte überhaupt keinen Akt interner Körperveränderung geben, bei dem nicht irgendwie der Sauerstoff im Spiele war. Sachlich lief auf dieselbe Grundbestimmung hinaus die zeitweise lebhaft ventilierte Hypothese des Engländers W. Prout (1786 bis 1850), welcher zufolge der Wasserstoff die eigentliche Urmaterie in der Körperwelt sein sollte. Dieselbe hat nicht wenige Anhänger gefunden, denn das spezifisch leichteste aller Gase, auf dessen spezifisches Gewicht als Einheit alle übrigen Gasdichten bezogen zu werden pflegen, erschien wiederum in jener halbmystischen Verklärung, die ja auch dem Phlogiston eigen gewesen war. Prout

hielt dafür, daß, wenn man nur das Atomgewicht des Wasserstoffs gleich 1 setze, die Atomgewichte aller übrigen Elemente durch ganze Zahlen ausgedrückt werden könnten, allein diese Thatsache hat sich nicht als solche bestätigt. Neben dem Belgier J. S. Stas (1813 bis 1891), der erst später an diese Dinge herantrat, war besonders Berzelius an der Widerlegung der Proutschen Hypothese beteiligt.

Die theoretischen Ansichten, welche der zwischen 1820 und 1840 den größten Einfluß auf seine Wissenschaft ausübende Chemiker sich zu eigen gemacht hatte, sind zwar schon in früher erschienenen Abhandlungen niedergelegt, erhielten ihren Abschluß aber erst in einem französisch geschriebenen Buche aus dem Jahre 1819, dessen Zweck es war, den Galvanismus als den für die Chemie maßgebendsten Faktor zur Geltung zu bringen. Es sind zwei entgegengesetzte Elektrizitäten vorhanden, und folglich ist Berzelius' System ein dualistisches. Zwei vorher voneinander getrennte Atome gehen dann eine engere Verbindung miteinander ein, wenn ihre elektrischen Eigenschaften dazu angethan sind; das hatte Davy wohl auch angedeutet, aber er hatte es eben, wie auch sonst nicht ganz selten, bei bloßen Andeutungen bewenden lassen, und eine genaue Erklärung des Herganges wurde bei ihm vermißt. Berzelius war ein Gegner der Annahme, daß bloßer Kontakt elektrische Kraft auszulösen vermöge; die Elektrizität ist an und für sich in den Körpern, in ihren Grundbestandteilen enthalten, und zwar giebt es Atome, die jeweils vorwiegend mit positiver und negativer Elektrizität geladen sind. So kommt die bekannte Spannungsreihe zustande, in der jeder einfache Körper seinen besonderen Platz einnimmt. Am einen Ende steht ein elektropositiver, am anderen Ende ein elektronegativer Körper, und wenn man von diesem aus zuerst zum Körper a und unmittelbar darauf zum Körper b fortschreitet, so ist damit gesagt, daß a in höherem Grade elektronegativer als b ist. Das damit gekennzeichnete Verhalten ist kein absolut unveränderliches, da auch die Temperatur einen bestimmenden Einfluß äußert. Wenn nun zwei Elemente sich verbinden, deren eines wesentlich elektropositiv und deren zweites wesentlich elektronegativ ist, so tritt ein Ausgleich der beiden Elek-

trizitäten ein, der kalorische und optische Begleiterscheinungen hervorrufen kann; zwei feste Körper unterliegen nicht der Möglichkeit einer solchen Vereinigung ihrer Atome, weil diesen erst jenes Maß freier Beweglichkeit mitgeteilt sein muß, wie es der tropfbar- und der elastisch-flüssige Aggregatzustand mit sich bringt. In der chemischen Verbindung sind also die zuvor — wenn auch nicht im strengsten Wortsinne — unipolaren Atome apolar geworden, aber es kann ihnen die ursprüngliche Polarität dadurch zurückerstattet werden, daß man den galvanischen Strom anwendet. Wie aber soll man sich den Umstand zurechtlegen, daß eine aus zwei Bestandteilen a und b zusammengesetzte Verbindung als solche zu existieren aufhört und zersetzt wird, sobald ein dritter Körper c mit ihr in Berührung kommt? Nun, c wirkt eben elektrisch sowohl auf a als auf b ein, und wenn diese von c auf a geübte Wirkung stärker als die von b auf a geübte ist, so sagt sich a von dem Zusammenhange mit b los und folgt dem mächtigeren Zuge gegen c. „Hieraus folgt,“ so sagt Berzelius — in seinem „Lehrbuch der Chemie“ (1845) — wörtlich, „daß jeder zusammengesetzte Körper, welches auch die Anzahl seiner Bestandteile sein mag, in zwei Teile getrennt werden kann, deren einer positiv, deren anderer negativ elektrisch ist.“ Die Terminologie, welche das neue elektrochemische System notwendig brauchte, kam ihrem Geiste nach mit derjenigen überein, welche die französischen Antiphlogistiker erwähntermaßen unter Lavoisiers Ägide ausgebildet hatten. Die Agentien, welche man sich später als Kräfte anzusprechen gewöhnte, sind imponderable, die sinnenfällige Materie enthält nur ponderable Körper. Oberflächlich vereinigt, ergeben diese letzteren Lösungen und Gemenge; eine intime Verbindung entsteht, wenn Elemente zu Verbindungen zusammentreten. Sauerstoffverbindungen können als Oxyde oder auch als Säuren erscheinen; man sieht, daß Berzelius in den reiferen Jahren, aus denen sein Hauptwerk stammt, der lange festgehaltenen Säurentheorie ebenfalls Valet gesagt hatte. Das festeste Andenken bei der Nachwelt hat sich jedoch der geniale Mann dadurch geschaffen, daß er eine chemische Zeichensprache von der größten Einfachheit, Folgerichtigkeit und Verwendbarkeit einführte. In den sechzig Jahren, die seitdem ver-

flossen sind, hat die Wissenschaft ganz unberechenbar an Ausdehnung gewonnen, und die allerverwickeltsten Verbindungen, deren bloße Möglichkeit zu Berzelius' Zeit angezweifelt worden wäre, haben eine pasigraphische Darstellung verlangt, aber die alte Symbolik hat sich auch als den höchstgesteigerten Ansprüchen genügend erwiesen. Das auszeichnende Merkmal derselben besteht darin, daß, wenn ein Element mit mehreren Atomen, etwa mit n derselben, in einer Verbindung vertreten ist, diese Zahl n als eine Art Exponent der Buchstabenfolge beigesetzt wird, welche das betreffende Element charakterisiert. Damit war dann ein weiterer hoher Vorteil erzielt; es ward möglich, durch Gleichungen den Akt der Zusammensetzung eines Körpers aus Elementen bequem auszudrücken, chemisch zu rechnen.

Die chemische Statik nimmt bei Berzelius eine eigenartige, von den theoretischen Gesichtspunkten der Zeit wenig beeinflußte Gestalt an. Der Gegensatz zwischen Molekül und Atom, wie ihn Graf Avogadro sachgemäß definiert hatte, wird abgelehnt; das Daltonsche Gesetz wird ausdrücklich als „willkürlich" zurückgewiesen. Allein eben dieser Vorhalt dürfte sich mit einiger Berechtigung der Art und Weise machen lassen, wie Berzelius die Kombination elektropositiver und elektronegativer Körper durchführt, und auch seine Bestimmung der Atomgewichte, welche er sich eben darum mehrfach zu revidieren gezwungen sah, ist von jenem Bedenken nicht frei. Die Untersuchungen, welche Dulong und Petit 1819 über die Eigenwärme der Körper anstellten, und kraft deren zwischen Atomgewicht und spezifischer Wärme eine feste Beziehung als bestehend zugegeben werden mußte, führten denn auch zu anderen Werten, als zu den von Berzelius angegebenen. Allein trotzdem erhob sich letzterer durch stete Vervollkommnung seiner eigenen Denkweise und durch nicht minder rastlose Verbesserung der Methodik zu einer solchen Sicherheit in der Ermittlung der Atomgewichte, daß viele derselben, so wie er sie gab, von der Folgezeit angenommen, andere hinwiederum nur unbedeutenden Änderungen unterzogen wurden. Um 1830 stand ein Lehrgebäude da, welches, insoweit anorganische Körper in Betracht kamen, für alle Zeiten fest gegründet erschien, und dem Baumeister werden auch Diejenigen

hohe Achtung nicht versagen, welche unter dem Eindrucke neuer Errungenschaften zu der Erkenntnis gelangten, daß auch dann, wenn man von der prinzipiellen Einheit der natürlichen Energieformen überzeugt ist, die von Berzelius durchgeführte Identifizirung von Elektrizität und Chemismus nicht aufrechterhalten werden kann.

Mit einer sehr wichtigen Entdeckung hatte sich der große Systematiker gerade in der Zeit auseinanderzusetzen, als er am eifrigsten an der Formulierung seiner Leitsätze arbeitete. Wir meinen die schon weiter oben gestreifte Umwälzung, welche sich die Krystallographie gefallen lassen mußte. Wir erfuhren, daß, seitdem überhaupt Hauy die Bedeutung der Krystallgestalt für die Erforschung der ganzen Körperwelt erkannt und diese Wahrheit zum geistigen Eigentume seiner Zeit gemacht hatte, längere Zeit kein Zweifel darüber bestand, es müsse jedwede chemische Individualität ihre greifbare Versinnlichung in der ihr zugehörigen Krystallform finden; stieß man auf zwei ungleiche Krystallkörper, so hielt man sich überzeugt, daß man bei der chemischen Zerlegung derselben auf stoffliche Verschiedenheit werde geführt werden, und umgekehrt sollte aus der gleichen Krystallform auch die vollkommene stoffliche Übereinstimmung folgen. Wir waren bereits im mineralogischen Teile verpflichtet, der Unrichtigkeit dieses Grundsatzes vorübergehend zu gedenken, und hier ist der Ort, die Frage etwas eingehender zu erörtern. Im Jahre 1820 wurde die schon oben angeführte Thatsache bekannt, daß der deutsche Chemiker Mitscherlich den Isomorphismus entdeckt habe. Gewisse Krystalle, die einander in allen Einzelheiten vollständig glichen, konnten sowohl phosphorsaure als arsensaure Salze liefern, wenn man sie analysierte, und daraus folgte, daß man dem Krystalle als solchem nicht anzusehen vermochte, aus welchen Bestandteilen er sich zusammensetzte. Wohl aber stellte sich heraus, daß in den stereometrisch identischen, chemisch verschiedenen Körpern die gleiche atomistische Anordnung obwaltete; sind zwei Körper aus einer gleichen Anzahl von Atomen aufgebaut, einerlei wie diese sonst beschaffen sein mögen, so ergiebt sich für erstere eine übereinstimmende Krystallisation. Dies trifft

z. B. zu für Selen- und Schwefelsäure, für Nickel- und Eisenoxydul u. s. w. Man begreift, daß eine solche Umwälzung großes Aufsehen machen muß, und die Geschichte der Entdeckung des Isomorphismus, wie sie E. Wohlwill (geb. 1835) monographisch bearbeitet hat, gehört zu den interessantesten Spezialkapiteln innerhalb der Geschichte der Chemie. Es begegnet uns auch hier, was ja niemals gänzlich vermißt wird, daß nämlich auch zuvor schon dieser und jener Forscher Wahrnehmungen machte, die, hätte er sie konsequent verfolgt, zu der Entdeckung selbst hätten hinleiten müssen; allein dadurch wird das Verdienst des wirklichen Entdeckers nicht getrübt, der eben den Schlußstein einsetzte. Gay-Lussac, Beudant, Gehlen, Nep. Fuchs (1774—1856) waren der Wahrheit sogar ziemlich nahe gewesen; vorzugsweise der letztere, der klar erkannt hatte, daß gewisse Stoffe — er nannte sie die vikariierenden — an Stelle derjenigen, die gewöhnlich diesen Platz einnehmen, in Mineralverbindungen eingehen können. Aber dem anscheinend seltenen Vorkommnis ward keine weitere Tragweite beigemessen. So zögerte sich also die Erkenntnis eines ganz unerwarteten Verhaltens der Naturkörper noch länger hinaus. Berzelius war von der Entdeckung Mitscherlichs im höchsten Grade überrascht und bezeichnete sie als „die wichtigste seit Aufstellung der Lehre von den chemischen Proportionen."

Es kann nicht überraschen, daß der Meister die großartige Perspektive, welche nunmehr für die Erforschung der inneren Konstitution der Körper sich zu eröffnen schien, freudigst begrüßte. Den sozusagen geometrischen Charakter der Isomorphie insofern etwas überschätzend, als thatsächlich auf deren Zustandekommen doch auch die chemische Natur der Atome nicht ohne Einfluß ist, zog Berzelius den Schluß: Sind zwei isomorphe Körper vorhanden, und weiß man, wie viele Atome in dem einen derselben enthalten sind, so kennt man auch die Anzahl der Atome in dem anderen, weil sie gerade so groß ist. Diese Thatsache schien ihm für die Ermittlung der Atomgewichte einen vortrefflichen Fingerzeig abzugeben, und wie erwähnt, setzte ihn sein genialer Takt auch in den Besitz von Werten, die sich trotz der nicht völlig einwandfreien Prämisse als nur geringfügiger Verbesserungen bedürftig

erwiesen. Die „Jahresberichte", welche Berzelius mit dem Jahre 1821 begann, und in denen er das weite Gebiet der anorganischen Naturwissenschaften, durchaus nicht etwa nur die Chemie, kritisch durchmusterte, mußten wesentlich dazu beitragen, die Anschauungen ihres Autors zu verbreiten und zur Geltung zu bringen.

Die notwendige Ergänzung des Isomorphismus brachten die dreißiger Jahre in G. Roses Mitteilung, daß es auch einen Polymorphismus gäbe, der allerdings mehrenteils nur als Dimorphismus oder Heteromorphismus auftritt. Ein und derselbe Körper kann unter verschiedenen Umständen in zwei abweichenden Systemen krystallisieren; Kohlenstoff z. B. ist als Diamant regulär, als Graphit hexagonal, und Titansäure ist tetragonal als Rutil, aber rhombisch als Brookit. Am meisten Interesse gewährte der 1837 geführte Nachweis, daß Kalkspat und Aragonit einander chemisch gleich sind. Fälle von Trimorphismus hat man erst später dazu gefunden. Was schon Mitscherlich darzuthun gelungen war, daß nämlich zwischen der im Krystalle sich ausprägenden Molekularstruktur und der Art, wie sich die Atome chemisch aneinanderlagern, keine eindeutige Beziehung bestehe, war durch Rose mithin voll bestätigt worden. Und diesen hochwichtigen Ergebnissen eindringender Forschung stellten sich ziemlich gleichzeitig andere zur Seite, die zu der Vermutung anregten, nicht nur die Anzahl der Atome, sondern auch deren verschiedenartige Lagerung — die Ausdrucksweise gehört Berzelius an — möchten wohl für die Natur einer chemischen Verbindung bestimmend sein. Das Jahr 1825 brachte einen bedeutsamen Fortschritt in der angedeuteten Richtung, und Faraday, als Physiker und Chemiker gleich groß dastehend, war es, dem man ihn verdankt. Allerdings hatte bereits 1823 Liebig gefunden, daß die Analyse von Knallsäure und Cyansäure zu ganz denselben Verhältniszahlen führe, allein man sträubte sich zuvörderst, zuzugeben, daß zwei stoffliche Individualitäten eine totale äußere Verschiedenheit aufweisen und doch dabei innerlich gleich sein könnten, und Faradays etwas bestimmter auftretende Entdeckung kam daher gerade recht, um einen Umschwung in der prinzipiellen Auffassung der Körperkonstitution herbeizuführen. Es ergab sich, daß ein Kohlen-

wasserstoff existiert, der von dem bis dahin mit dieser Substanz identifizierten ölbildenden Gase chemisch durchaus nicht verschieden ist, wohl aber physikalisch, indem er, um nur eines anzuführen, die doppelte Dichte von der jenes Gases besitzt. Ganz ebenso wies nahe gleichzeitig E. D. Clarke (1769—1822) nach, daß es zwei verschiedene Gattungen von Phosphorsäure giebt, deren chemische Zusammensetzung eine übereinstimmende ist. Die neuen Thatsachen dem Systeme anzugliedern und durch eine sinngerechte Nomenklatur zu charakterisieren, unternahm wiederum Berzelius, der selbst auch auf diesem Gebiete mit Erfolg gearbeitet hatte. Von ihm rühren die seitdem zum eisernen Besitzstande der Wissenschaft gehörenden Ausdrücke Isomerie, Polymerie und Metamerie (μέρος, Teil) her. Haben zwei Stoffe die gleiche chemische Zusammensetzung und gleiche Atomgewichte, während im übrigen Verschiedenheit besteht, so sind dieselben isomer; was Faraday bei den Kohlenwasserstoffen festgestellt hatte, ist Polymerie; Metamerie endlich tritt ein, wenn bei gleicher chemischer Struktur zu dem abweichenden physikalischen Verhalten auch noch ungleiches Atomgewicht hinzutritt. Endlich ist noch ein wichtiger Fall auszusondern, wenn nämlich ein und derselbe Körper nicht nur in seiner Krystallgestalt — dann liegt eben Dimorphie u. s. w. vor —, sondern auch in anderen Eigenschaften verschiedenartig auftritt. Diese Bethätigung der manchen Körpern anhaftenden Proteus-Natur ist von Berzelius 1841 als Allotropie, wörtlich „Andersartigkeit", bezeichnet worden. Wir erwähnen gleich jetzt, in der Zeitfolge etwas vorauseilend, der wichtigsten unter allen den Allotropien, mit welchen uns die Forschung nach und nach bekannt gemacht hat. Bereits 1785 hatte der Holländer van Marum, dem eine Scheiben-Elektrisiermaschine von ganz besonders großen Dimensionen zu Gebote stand, eine Veränderung des Sauerstoffs konstatiert, wenn durch eine mit diesem gefüllte Röhre ein Funkenschlag gegangen war. Ein eigentümlicher Geruch, der sich sowohl bei der galvanischen Zerlegung des Wassers, als auch beim Ausströmen der Elektrizität aus Spitzen bemerklich macht, veranlaßte 1839 C. F. Schoenbein (1799—1868) dazu, der Ursache dieser ungewöhnlichen Erscheinung nachzuspüren, und 1844

erschien zu Basel eine Schrift „Erzeugung des Ozons auf chemischem Wege“, deren Inhalt in dem Nachweise gipfelte, daß Sauerstoff auch durch Berührung mit Phosphor in jenen Zustand übergeführt werde, für welchen der Entdecker den rasch eingebürgerten Namen Ozon („Riechstoff“) vorschlug. Daß Ozon und Sauerstoff allotrop zusammengehören, stand von Anfang an fest, obwohl erst später Th. Andrews (1813—1885) das Wesen der obwaltenden Allotropie erschloß. Ein Molekül des von Schoenbein dargestellten Stoffes, dem man in der ersten Begeisterung eine meteorologisch-hygienische Wichtigkeit beimaß, die sich nachträglich als Überschätzung erweisen sollte, hat drei Atome Sauerstoff in sich aufgenommen.

Um den inneren Zusammenhang nicht zu beeinträchtigen, mußten wir, wie erwähnt, den chronologischen Faden fallen lassen, und so kehren wir jetzt wieder zum Beginne der zwanziger Jahre zurück, um von einer anderen, vielleicht noch einschneidenderen Bereicherung der chemischen Theorie Akt zu nehmen. Berzelius hatte von je her daran festgehalten, daß sowohl seine eigenen als auch alle die übrigen Grundlehren, welche sich in der Spanne Zeit seit Lavoisier herausgebildet hatten, ausschließlich für die Welt des Anorganischen auf Giltigkeit Anspruch erheben könnten. Daß auch die Vorgänge in den organischen Geweben und Flüssigkeiten physikalische und chemische seien, mußte freilich zugestanden werden, aber daß eine unveränderliche Gesetzmäßigkeit auch hier platzgreife, schien ein allzu kühner Gedanke. Noch spukte allenthalben in der Wissenschaft, sobald biologische Fragen in Betracht gezogen wurden, der dunkle, niemals definierte Begriff der Lebenskraft; ein ganz vager Begriff, dem auch A. v. Humboldt in seiner bekannten „Horen“-Erzählung „Der rhodische Genius“ den Zoll hoher Verehrung dargebracht hatte, freilich nur, um gleich nachher zuzugestehen, daß man damit doch eigentlich „keinen Hund aus dem Ofen ziehen“ könne. Aber auch der so klar blickende Berzelius war von der Überzeugung durchdrungen, daß die Lebenskraft einen fundamentalen Gegensatz zwischen anorganischer und organischer Chemie bedinge. Analysieren könne man nach den bestehenden Methoden auch die organischen Substanzen, und sowohl die Formelsprache wie auch das Proportionsgesetz ließen sich auf

diese anwenden; ganz anders stehe es jedoch, wenn man zur Synthese, zur Wiedervereinigung der in einem gegebenen Körper nachgewiesenen Elementarbestandteile, übergehen wolle. Eine solche sei im Bereiche des Anorganischen theoretisch immer möglich, wenn man sie auch im Einzelfalle vielleicht praktisch nicht zu bewerkstelligen vermöge; zur Darstellung organischer Körper dagegen bedürfe man der Mitwirkung der Lebenskraft, die in die Retorten des Chemikers keinen Eingang finde. Dies war die allgemeine Ansicht, und Chevreuls, des, wie bemerkt, späteren, langjährigen Nestors seiner Fachgenossen, klassische Untersuchungen über die Fette, die in einem Werke aus dem Jahre 1823 ihren Abschluß fanden, hatten noch keine Erschütterung der herrschenden Doktrin zuwege gebracht, weil sie eben doch wesentlich analytischer Natur gewesen waren. Da verbreitete sich 1828 die überraschende Kunde, daß ein junger deutscher Gelehrter, F. Woehler in Göttingen (1800 bis 1882), die Darstellung eines unzweifelhaft organischen Körpers thatsächlich erzielt hatte. Schon sechs Jahre vorher hatte er die Cyansäure entdeckt, und mit dieser experimentierend, sah er sich auf einmal vor einem Eindampfungsprodukte, welches sich als der Harnstoff (Carbamid) herausstellte, eine Substanz, die in den Ausscheidungen des Menschen und der Säugetiere niemals fehlt, indem der Stickstoff, der dem Magen durch die genossenen Eiweißkörper zugeführt wird, in der erwähnten Form den Organismus wieder verläßt. Die Woehlersche Synthese wurde von Liebig ahnungsvoll als „Morgenrot eines neuen Tages“ begrüßt, aber es gab natürlich auch Zweifler, die den aprioristischen Standpunkt einnahmen und auch vor allem darauf hinwiesen, daß der betreffende Stoff zwar aus Verbindungen, die für anorganisch galten, nicht jedoch aus den Elementen selbst dargestellt worden sei. Der „Lebenskraft“ blieb so immer noch eine Hinterthüre geöffnet. Was aber noch ausstand, ist später auch noch nachgeholt worden, indem M. P. E. Berthelot (geb. 1827) um 1860 die bereits seit 1670 bekannte Ameisensäure direkt aus ihren Urbestandteilen zusammensetzte.

Die Chemie hatte, soweit sie das theoretische Element hauptsächlich betonte, in der Zeit zwischen 1820 und 1830 eine Fülle

der wertvollsten Anregungen in sich aufgenommen, aber es ist nicht zu verwundern, daß gerade deshalb eine gewisse Unsicherheit darüber entstand, ob und inwieweit Thatsachen, die man als feststehend zu betrachten gewohnt war, dies auch wirklich seien. Berzelius freilich konnte durch eine Episode, in der alle Anschauungen eine Umänderung sich gefallen lassen zu müssen schienen, nicht schwer betroffen werden, denn er hatte bereits 1819 mit aller Bestimmtheit erklärt, daß seine elektrische Theorie vor den Thoren der organischen Chemie Halt mache; die organischen Körper ließen sich nicht, wie die anorganischen, in binäre Gruppen zusammenfassen. Andere beobachteten jedoch keine solche Resignation, sondern bemühten sich, auch das neu erschlossene Gebiet durch Analogieschlüsse mit dem älteren in Wechselbeziehung zu setzen. Auf Doebereiner und Gay-Lussac folgten J. B. Dumas (1800—1884) und P. Boullay (1806—1837), die zwischen den Modifikationen des Äthers und den Salzen eine Parallele ziehen zu können vermeinten und auch, nach einigem Sträuben, Berzelius in ihr Lager herüberzogen. Es war bei den hier gepflogenen Diskussionen immer noch einigermaßen ungewiß, was unter dem geläufigen, aber keineswegs ganz geklärten Begriffe Radikal zu verstehen sei. Hier brachte die Wendung eine Arbeit, welche Woehler und Liebig 1832 gemeinschaftlich über das Bittermandelöl unternahmen. Ladenburg bezeichnet dieselbe als eine solche von fundamentaler Bedeutung, denn durch sie wurde dargethan, daß durch Annahme der Möglichkeit, es könne auch sauerstoffhaltige Radikale geben, aus einer gegebenen Verbindung mittelst einfacher Reaktionen andere Körper von klar ausgesprochenen Eigenschaften in nahezu beliebiger Menge abzuleiten seien. So tragen denn die nächsten Jahre wesentlich die Signatur eines lebhaften geistigen Kampfes, dessen Hauptobjekt und Mittelpunkt die Radikaltheorie bildet. Der Sauerstoff, der noch immer mehrfach als ein ganz besonders bevorzugtes Element betrachtet ward, verlor seine Vormacht, und man sah, daß sich Radikale, gleich als ob es Elemente wären, mit anderen Elementen verbinden konnten. Zu dem Zweigestirne Liebig-Woehler trat in jenen Tagen ein dritter deutscher Forscher, noch jünger denn sie, um das Werk weiterführen zu helfen, welches

dieselben begonnen hatten. Es war R. W. Bunsen (1811—1897), der den beiden Verbindungen, aus deren Studium die neue Auffassung der Radikale erwachsen war, eine dritte, das Kakodyl, hinzufügte, welches nunmehr mit Cyan und Benzoyl die fundamentale Dreiheit bilden sollte. Schon 1760 hatte Cadet eine giftige und einen sehr unangenehmen Geruch — von da der Name — verbreitende Säure dargestellt, deren üble Eigenschaften es verschuldeten, daß man sich lange Zeit recht wenig mit ihr beschäftigte, bis Bunsen das nahe liegende Vorurteil überwand und, nachdem er dessen Chlorverbindung durch Zink aufgelöst hatte, das Kakodyl als Radikal isolierte. Dasselbe wich von den bisher mit diesem Namen belegten Kombinationen sowohl durch seinen Metallgehalt als auch durch die Eigenschaft der Selbstentzündlichkeit ab, und es war damit also offenbar ein neues Ferment in eine an sich in vollster Entwicklung stehende Theorie hineingetragen.

Seit 1833 war auch in Berzelius' Denkweise ein Wandel eingetreten; er gab einen der Gegensätze auf, welche seiner früheren Meinung zufolge die beiden großen Abteilungen der Chemie voneinander trennten, und teilte auch den organischen Verbindungen jene binäre Koppelung zu, welche er im Bereiche des Anorganischen als allgemein giltig erkannt zu haben gewiß war. Noch aber deutete er die neu hergestellten Körper als Oxydationsprodukte und trat dadurch in Widerspruch gegen Liebig, der den Alkohol und den Äther als Verbindungen definierte, die ein Radikal, Äthyl genannt, gemeinsam hätten. Obwohl die Äthyltheorie, zumal bezüglich der Bestimmung der Atomgewichte, zunächst noch mancherlei Mängel an sich trug, so bekundete sie sich doch auch schon in dieser noch nicht ganz vollkommenen Gestalt als ungemein fruchtbar für die Erforschung der Natur einer weiteren Reihe zusammengesetzter Körper. Um 1837 war Liebig zu einer Klärung seiner Ansichten über Radikale gelangt, die vorläufig endgiltig schien, und die Qualitäten, welche er solchen Gebilden zuschrieb, waren nun einstweilen eindeutig und übersichtlich festgestellt, während bisher eine gewisse Schwankung in der Begriffsbestimmung zu bemerken gewesen war. Ein Körper, der kein Element ist, verdient die Bezeichnung Radikal, wenn er stabiler Bestandteil einer Anzahl zu-

sammengehöriger Verbindungen bleibt, wenn er in diesen durch andere einfache Körper ersetzt werden kann, und wenn in seinen Verbindungen mit einem einfachen Körper dieser letztere durch Äquivalente von anderen einfachen Körpern vertreten werden kann. Liebig und Dumas, die sich in ihren Anschauungen trafen und an deren Durchführung gemeinsam arbeiteten, wiesen ihren Radikalen für die organische Chemie wesentlich die gleiche Rolle zu, welche für die Gesamtwissenschaft die Elemente zu spielen berufen sind. Diese Körper wirken, wie jene erklären, bald wie Chlor oder Oxygen, bald auch wie ein Metall. Solange organische Materie als solche vorliegt, sind als ihre wahren Elemente die Radikale des Ammoniaks, des Alkohols, das Cyan u. s. w. zu betrachten, und erst dann, wenn jene Materie aus irgend einem Grunde ihrer Zerstörung entgegengeht, beginnen die Radikalverbindungen zu zerfallen und sich in die gewöhnlich diesen Namen führenden Elemente, wie Kohlen-, Wasser-, Sauer- und Stickstoff aufzulösen. Diese Urstoffe der Körperwelt treten mithin nach Liebig und Dumas ihre konstruktiven Eigenschaften gewissermaßen an die aus ihnen gebildeten Radikale ab, lassen sich von diesen vertreten, solange organische Produkte in Frage kommen, und fordern ihre älteren Rechte erst dann zurück, wenn der betreffende Körper durch einen Auflösungsprozeß in das Reich der anorganischen Natur zurückkehrt. Wer wollte, hatte dann noch immer einiges Recht, zu sagen, daß die „Lebenskraft" es sei, welche die Radikale in ihrem Wirkungskreise als vikariierende Elemente festhalte, und erst, wenn dieses Agens schwinde, höre der bisherige Unterschied auf, indem die bislang wie unteilbare Körper wirkenden Verbindungen, des immateriellen Bandes beraubt, in ihre wirklichen Urbestandteile auseinanderfielen. Wer dagegen jene mysteriöse Unterstützung verschmähte, nahm seine Zuflucht zu der Hypothese, daß innerhalb einer als Radikal zu bezeichnenden Gruppe eine besonders starke Attraktion der molekularen Kräfte vorwalte.

Mit dem Jahre 1835 tritt uns in der Substitutionstheorie von A. Laurent (1807—1853) ein weiterer, sehr ernst gemeinter Versuch entgegen, die atomistischen Hypothesen, welche in der organischen Chemie umliefen, auf ein einheitliches Fundament

zurückzuführen. Untrennbar von Laurent ist der Elsässer K. Gerhardt (1816—1855), ein Schüler der deutschen Universitäten und namentlich Liebigs, später in Montpellier, Paris und Straßburg thätig. Zwischen den beiden genannten Männern bestand die lebhafteste geistige Wechselwirkung, und es ist vielleicht unmöglich, scharf zu trennen, was dem einen und dem anderen als geistiges Eigentum angehört. Nach Laurent hat man die der Substitution unterworfenen Radikale, für die damals auch die deutsche Bezeichnung Kerne auftauchte, in ursprüngliche und abgeleitete zu sondern; in erstere geht ausschließlich Kohlenstoff und Wasserstoff nach einfachen Atomverhältnissen ein, während sich die Radikale zweiter Art dadurch bilden, daß dem Wasserstoff andere Körper substituiert werden, die nicht notwendig Elemente zu sein brauchen, sondern auch andere Radikale sein können. Diese neuere Radikal- oder Kerntheorie nahm demnach den Radikalen die Eigenschaft der Unveränderlichkeit, stellte aber eine neue Schranke zwischen anorganischen und organischen Körpern her, indem nur für die letzteren die Möglichkeit einer solchen Ersetzbarkeit bestehen sollte. Diese erste Formulierung der Kerntheorie begegnete sowohl bei Berzelius wie nicht minder bei Liebig entschiedenster Gegnerschaft, hatte aber unter allen Umständen das Verdienst, eine erneute und tiefer gehende Erörterung über die prinzipiellen Fragen in Anregung gebracht zu haben. Zunächst warf 1839 Dumas mit seiner Typenlehre einen neuen Streitapfel in die Arena. Da das Wort Typus nicht immer in gleichem Sinne gebraucht ward, so stellt man wohl Dumas' ältere Typentheorie der jüngeren von Laurent und Gerhardt gegenüber, welche etwas später in die Welt trat. Auf einer älteren Arbeit Fourcroys fußend, hatte Liebig das Aldehyd dargestellt, durch dessen Namen er andeuten wollte, daß man es mit von Wasserstoff befreitem Alkohol zu thun habe, und demselben Forscher gebührt der Ruhm, das Chloral genauer erforscht zu haben, wiewohl man ja zunächst noch keine Ahnung von der unermeßlichen Bedeutung hatte, welche sich dieser Stoff später (1869) erringen sollte, als aus R. Virchows (geb. 1821) Laboratorium die so wohlthätige Entdeckung des Chloralhydrats, des zuverlässigsten und ungefährlichsten unter allen bekannten Schlaf-

mitteln, hervorging. Zu Aldehyd und Chloral hatte Dumas noch die Trichloressigsäure hinzugefügt, aus deren Verhalten er den Schluß zog, daß Halogene an die Stelle des verdrängten Wasserstoffs treten können. Als Typen wollte Dumas Verbindungen einführen, welche bestehen bleiben, wenn dem Wasserstoff ein gleiches Volumen Chlor, Jod oder Brom substituiert wird. Eine Körperreihe weist einen gemeinschaftlichen Typus auf, ähnlich wie aus Laurents ursprünglichen Kernen auf dem Wege der Substitution sekundäre Kerne gebildet werden. Solange von solch chemischen Typen die Sprache ist, muß in den dazu gehörigen Körpern eine nahe Übereinstimmung bestehen; es sollte jedoch neben ihnen, deren Eigenart sich nur auf Atombeziehungen erstreckt, doch auch noch ein anderer, ein mechanischer oder — nach Regnault — molekularer Typus nachweisbar sein, welcher alle im Wechselverhältnis äquivalenter Substitution zu einander stehenden Verbindungen umfaßte, einerlei wie deren sonstige Eigenschaften sein mochten. Gegen Berzelius richtete diese Theorie eine nicht zu verkennende Spitze, indem mit dem Dualismus des schwedischen Forschers gänzlich gebrochen ward. Dumas' Behauptung, für die chemischen Äußerungen einer Verbindung sei in erster Linie Zahl und Anordnung der Atome, nicht jedoch deren spezifische Natur maßgebend, mußte in einer Zeit, welche so große im engeren Sinne chemische Errungenschaften zu registrieren hatte, sehr kühn erscheinen, während sie den Neueren, denen die stereochemische Denkweise geläufiger geworden ist, geringeren Anstoß erregt. Dieser Vorstellung war man vor sechzig Jahren noch wenig zugänglich, indessen sind ihre Anfänge immerhin gerade auf die um die Typenlehre geführten Diskussionen zurückzuleiten, und es war insonderheit Laurent, der mit bestimmteren Ideen solcher Art hervorzutreten wagte. Die Kerne dachte er sich als Prismen, deren Ecken von den Kohlenstoffatomen, deren Kanten von den Wasserstoffatomen eingenommen wurden, und wenn diese letzteren verjagt und durch die Atome eines anderen Stoffes ersetzt wurden, so blieb der Körper in seiner Totalität gleichwohl erhalten. Um die Prismen sollten dann wieder Pyramiden gelagert sein, u. s. w. Gewiß, es war ein erstes, noch recht unvollkommenes Tasten, das sich hier in dem Bestreben

kundgiebt, der Natur ihre innersten Geheimnisse abzulauschen, aber es lag darin ein Keim zu weiterem und glücklicherem Vordringen. So haben denn auch die neueren Historiker der Chemie weit günstiger über Laurent und seine Lehre geurteilt, als dies die Periode eines Berzelius that und, wenn man gerecht sein will, auch nur thun konnte. Übrigens eignete sich die Kerntheorie auch ganz gut dazu, als Fundament einer systematischen Darstellung verwertet zu werden, so wie dies L. Gmelins „Lehrbuch der Chemie" von 1844 zu erhärten in der Lage war. Die beiden Vettern L. und C. G. Gmelin (1788—1853; 1792—1860) dürfen zu den erfolgreichsten deutschen Arbeitern dieser Epoche auf dem Gebiete der analytischen Chemie gerechnet werden.

Die von Reizbarkeit nicht freie Polemik, welche Berzelius in seinen jährlichen Berichten gegen Dumas und Laurent richtete, ohne auch nur deren nicht durchweg sich deckende Doktrinen entsprechend auseinanderzuhalten, schlug nicht zu seinem Vorteile aus, sondern trug dazu bei, noch kurz vor seinem Tode das Ansehen des größten unter den damals lebenden Chemikern einigermaßen zu beeinträchtigen. Es hing dies zusammen mit dem überaus natürlichen Umstande, daß ein Forscher, der, vielleicht viel zu pessimistisch, seine ganze Lebensarbeit in Frage gestellt sieht, kaum mehr geneigt ist, beim Gegner auch das Gute anzuerkennen; Liebig, der seinem früheren Mitarbeiter Dumas gegenüber gleichfalls in wesentlich ablehnender Stellung verharrte, bewährte sich doch als weit vorsichtiger und ließ die Substitution als wirkliches Naturgesetz gelten, indem er nur der allzu schrankenlosen Ausdehnung des Prinzipes seinen Widerspruch entgegensetzte. Berzelius dagegen suchte seine elektrochemische Theorie, die denn doch auch in manchen Punkten einem Schematismus glich, ihrem ganzen Umfange nach zu retten und schrieb, weil es nicht anders ging, den Verbindungen, welche Dumas zu Prüfsteinen seiner neuen Hypothese gemacht hatte, eine Zusammensetzung zu, die sich mit dem wirklichen Befunde nicht vereinbaren ließ. Die letzten zehn Lebensjahre des genialen Schweden waren durch die wenn auch verschleierte Niederlage, die er sich bei dem Kampfe um die dualistische Atomenlehre zugezogen hatte, getrübt, und es bereitete ihm

Schmerz, die innigen Beziehungen, welche ihn mit dem früher gleichgesinnten Liebig verknüpften, sich mehr und mehr lockern zu sehen. Der Briefwechsel zwischen beiden Männern liefert den Schlüssel für einen Vorgang, der in der Geschichte der Wissenschaft zwar nicht selten, darum aber doch nicht weniger betrübend ist. Im nächsten Abschnitte werden wir einen der weniger häufigen, erfreuenden Fälle kennen lernen und erfahren, wie in einer Streitfrage, die mindestens die gleiche Tragweite besaß, die Lossagung des jüngeren Fachgenossen von dem Standpunkte des älteren sich ohne jedwede Verstimmung vollzog; Berzelius vermochte diese Resignation nicht zu üben und geriet so allmählich in das Hintertreffen. „In den letzten Jahren," so kennzeichnete der jüngere und siegreiche der beiden Gegner nachmals das Verhältnis, „wo Berzelius aufhörte, experimentellen Anteil an der Lösung der Fragen der Zeit zu nehmen, wandte sich seine ganze Geisteskraft theoretischen Spekulationen zu; aber nicht getragen und nicht gestützt durch eigene Anschauung, fanden seine Ansichten keinen Wiederhall oder Anklang in der Wissenschaft." Es ist dieser tragische Ausgang umsomehr zu beklagen, weil eben doch die erste Hälfte unseres Jahrhunderts durch den konstruktiven Geist und das systematische Talent eben dieses Mannes, soweit die Chemie in Betracht kommt, ihren eigentlichen Stempel erhalten hatte. Nachtragsweise bemerken wir noch, daß Berzelius der wahre Urheber einer exakt wissenschaftlichen Behandlung der vor ihm jeder Organisation entbehrenden Zoochemie gewesen ist; sein einschlägiges Werk (in unsere Sprache übersetzt von Schweigger-Seidel, Nürnberg 1815) gab die erste genauere Übersicht über die chemische Natur der Flüssigkeiten, welche im tierischen Körper zirkulieren.

Dumas' Radikaltheorie war, wie wir uns überzeugten, vielen seiner Zeitgenossen auch in der gewöhnlichen Bedeutung des Wortes allzu „radikal", und selbst Gerhardt, der doch im allgemeinen auf denselben Wegen wandelte, suchte zwischen jener und den sonst geläufigen Vorstellungen einen Kompromißversuch anzubahnen. Aus solchen Erwägungen heraus entstand im Jahre 1839 die Resttheorie („théorie des résidus"). Wenn zwei Körper aufeinander chemisch einwirken, so wird diese gegenseitige Beeinflussung

eine besonders energische sein zwischen gewissen Elementen, während andere vorhandene Atomgruppen unberührt bleiben. Diese, eben die Reste, bleiben deshalb vorerst übrig und treten, insofern sie nicht für sich allein bestehen können, untereinander in Verbindung. Diese Residuen sind nun freilich Vereinigungen, die, wie man früher gesagt haben würde, nur potentiell oder ideell, nicht aber in greifbarer Form, existierten; die Substitutionsform, wie sich Gerhardt ausdrückt, deckt sich mit einem Zustande, der sich der thatsächlichen Darstellung entzieht. War hierdurch wieder ein gewisses Halbdunkel erzeugt, das dem Empiriker keinen angenehmen Eindruck machen konnte, so wurde doch andererseits durch solche Aufstellungen ein tieferer Einblick in die Vorgänge, aus denen das fertige Produkt hervorgegangen ist, erzielt. Wenn Körper a aus Körper b hervorging, so war nach Gerhardt deshalb doch nicht anzunehmen, daß a in b sozusagen präformiert enthalten gewesen war. Das von Mitscherlich entdeckte Nitrobenzol wurde so einfacher erklärt, als dies zuvor hatte geschehen können; es ist das Resultat einer Verbindung je eines Restes der Salpetersäure und des zu Beginn der dreißiger Jahre von Faraday dargestellten Benzols, einer Kohlenwasserstoffverbindung; die Salpetersäure hatte zuvor ihren Sauerstoff, der Kohlenwasserstoff seinen Wasserstoff abgegeben, so daß nur die erwähnten Residuen zurückgeblieben waren. Gerhardt hatte mit manchem Widersacher zu rechnen, aber er stand doch keineswegs allein, und kein Geringerer als Mitscherlich gelangte ganz im eigenen Ideenkreise zu ähnlichen Vorstellungen. Übrigens blieb ersterer bei den Substitutionen nicht stehen, sondern gestand zu, daß, während in vielen Fällen ein neu in die Verbindung eingehender Körper einen vorher dagewesenen hinausdrängt, in anderen eine Addition, ein Zusammenbestehen, angenommen werden kann. Dieselbe kann sich unter mehreren Erscheinungsbildern verbergen, unter denen das wichtigste die Paarung, die Entstehung gepaarter Verbindungen, ist. Dieselben stehen den Salzbildungen gegenüber, die ebenfalls durch einen Additionsprozeß erzeugt zu denken sind. Die Paarlinge von Berzelius, welche dieser in seinen letzten Jahren einführte, um von der elektrochemischen Theorie zu retten, was sich retten ließ, haben mit Ger-

hardts „corps copulés“ nur den Namen gemein, und auch in den späteren Schriften des Genannten hat sich die Bezeichnung eine gewisse Umdeutung gefallen lassen müssen. Die Klassifikation, welche derselbe für die organischen Stoffe angab, nahm die Oxydation zum Maßstabe, indem aus den kohlenstoffreichen Verbindungen durch Zutritt von Sauerstoff solche hervorgehen, welche eine geringere Anzahl von Kohlenstoffatomen in sich schließen.

Wir entsinnen uns, daß unbeschadet der großartigen praktischen Leistung, welche Berzelius bei Ermittlung der numerischen Werte der Atomgewichte bethätigt hatte, die theoretische Frage nach dem wahren Wesen dieser letzteren noch nicht zur völligen Spruchreife hatte gebracht werden können. L. Gmelin hatte die gefundenen Zahlen, als Repräsentanten der von ihm so genannten Äquivalente, durchgehends halbiert. Dieses Kunstwort, dessen erster Benützung von seiten Wollastons oben gedacht ward, war kein klar umschriebenes und somit kein glücklich gewähltes, und auch Gerhardts Verwendung desselben war eine unsichere. Deshalb dachte er etwas später selbst auf Abhilfe, und so bahnten die beiden eng verbundenen Freunde Laurent und Gerhardt eine Reform an, deren Bedeutung von Denen viel zu niedrig eingeschätzt wird, die, wie man dies zeitweise zum öfteren las, die „geistlose“, „schablonenhafte“ Typen- und Resttheorie zum Gegenstande ihres Angriffes machten. Auf das Zusammenwirken der beiden französischen Chemiker geht in der neueren Zeit die erste, plangemäße Trennung der Begriffe Atom, Molekül und Äquivalent zurück, und zwar war hier Laurents Einwirkung die gewichtigere. Ihm zufolge ist Molekulargewicht eines Elementes die Gewichtsmenge, welche, den betreffenden Körper als gasförmig vorausgesetzt, mit zwei Atomen Wasserstoff den gleichen Raum einnimmt; das Molekül des leichtesten aller Gase wurde für zweiatomig gehalten. Die Definition von Molekül und Atom läßt zwar die Durchsichtigkeit noch einigermaßen vermissen, kommt aber in der Hauptsache doch darauf hinaus, ersteres als die physikalisch und letzteres als die chemisch nicht mehr weiter zerlegbare Stoffpartikel zu fassen. Gleichwertige Quantitäten analoger Körper sollen einander äquivalent heißen. Als einen Mißstand in der

bisherigen, so ungemein farbenreichen Entwicklung der theoretischen Chemie muß man es hinstellen, daß Avogadros Gesetz, aus dem die rationelle Atomistik nicht lange nachher wie aus einem ergiebigen Brunnen zu schöpfen gelernt hat, ganz in den Schatten getreten war. Gerhardt hat es wieder hervorgezogen und dahin gewirkt, daß man wieder daran dachte, dasselbe zu einer der Grundlagen der theoretischen Chemie zu machen, obwohl seine und Laurents Bestrebungen längere Zeit wenig Teilnahme fanden. Die des letzteren wohl hauptsächlich deshalb, weil Liebig eine seiner gewohnten scharfen Kritiken gegen dessen Art zu arbeiten gerichtet hatte; gleichwohl hat Laurent gezeigt, daß man als Experimentator Fehler begehen und deswegen doch ein scharfer chemischer Denker sein kann. Und bald sollte die Zeit kommen, welche die Forscher den Ideen der beiden zuletzt genannten Männer wieder näher brachte und der Ungewißheit über den Sinn der Worte Atom- und Molekulargewicht ein Ende bereitete. Der ganzen Zeitrichtung entsprach es, daß auch dieser Fortschritt von der organischen Chemie ausging, welche immer entschiedener auf ihre Selbständigkeit und auf eine auch äußerliche Scheidung von der älteren Schwester hindrängte. Daß dies keine tiefer gehende, grundsätzliche, sein konnte, während vielmehr gerade jetzt eine gewisse Isolierung, in welche die Chemie ihrer Nachbarwissenschaft, der Physik, gegenüber gekommen war, wieder aufhörte, leuchtet ein; nur systematische und wesentlich didaktische Gründe sprachen dafür, anorganische und organische Chemie als zwei selbständige Disziplinen zu behandeln.

Eine eigentliche physikalische Chemie gab es zwar noch nicht, und es hat diese Disziplin, wie sich noch ergeben wird, erst ziemlich viel später nach ihrer Autonomie zu trachten begonnen, aber an Material für eine solche fehlte es jetzt schon nicht. Neben mehreren Arbeiten Faradays mußte insbesondere die wichtige Experimentaluntersuchung in Betracht kommen, welche P. A. Favre (1813—1880) im Vereine mit F. T. Silbermann (1806—1865) über die bei der Verbrennung erzeugte Wärme angestellt hatte. Wenn man Kohle in verschiedenen Gasen verbrennen ließ, gelangte man auch zu verschiedenen kalorimetrischen Werten. Dies

schien nur in der Weise erklärt werden zu können, daß man neben der Bildung der Kohlensäure auch noch eine Trennung vorher verbunden gewesener Atome annahm, zu deren Zerlegung, je nach der spezifischen Eigenart des Gases, ein ungleicher Wärmeaufwand erfordert wurde. Auch andere Erwägungen, die sich unter anderem an die im Ozon zu Tage tretende Allotropie des Sauerstoffs anknüpften, sprachen für die Teilbarkeit der Moleküle, deren Bestandteile sich dann wieder anders anordnen konnten. Man mußte, wenn man diesen und anderen Thatsachen überhaupt einen Sinn abgewinnen wollte, die von Avogadro klar herausgefühlte, bei Gerhardt und Laurent unter veränderten Gesichtspunkten aufs neue durchgedrungene scharfe Begriffsscheidung zwischen Molekül und Atom zum Ausgangspunkte nehmen. Nach dieser Seite hin fiel 1849 eine Arbeit von C. A. Wurtz (1817—1884), dem späteren verdienten Historiker der chemischen Theorien ins Gewicht, durch welche man mit zwei dem Ammoniak ähnlichen Körpern, dem Methylamin und Äthylamin, bekannt geworden war. Auch A. W. Hofmann (1818—1892), seit 1845 an das Londoner „College of Chemistry“ berufen und dort bereits mit der Vorbereitung jener großen Arbeiten beschäftigt, welche seinem Namen einen Weltruf verschaffen sollten, hat durch den Nachweis, daß aus Ammoniak durch einen Substitutionsakt, indem Wasserstoffatome gegen Alkoholradikale ausgetauscht werden, die sogenannten Aminbasen entstehen, erheblich zur Ausgestaltung der neueren atomistischen Vorstellungen beigetragen. Vor allem aber ist noch A. W. Williamson (geb. 1824), einer der zahlreichen Schüler Liebigs, zu nennen, der sich eingehenden Studien über die Synthese des Alkohols hingegeben hatte, statt dessen aber Äther erhielt. Es schien da ein Dilemma vorzuliegen, aus dem kein Ausweg zu ersehen war, aber die unermüdliche Variierung der Versuche durch Williamson führten trotzdem zu einem solchen. Liebigs Ansicht, der Alkohol sei das Hydrat, die Wasserverbindung des Äthers, wurde hinfällig, und letzterer Stoff erwies sich als ein Resultat der gegenseitigen Beeinflussung von Alkohol und Schwefelsäure. Das Wasser mußte rücksichtlich seiner Zusammensetzung als ein Typus anerkannt werden, nach welchem eine ganze Reihe anderer Verbindungen sich richteten:

ersteres entspricht der Formel H_2O, und wenn ein H und O verbleibt, während C_2H_5 dem anderen H substituiert wird, so ist die Formel des Alkohols gegeben, wie auch andererseits, falls an die Stelle des noch übrigen H ebenfalls C_2H_5 tritt, die Formel des Äthers zum Vorschein kommt. Dem Typus „Ammoniak“, aus welchem man auf dem Substitutionswege eine Fülle bekannter und unbekannter Verbindungen herzuleiten gelernt hatte, war so der Typus „Wasser“ zur Seite getreten, und von dieser theoretischen Errungenschaft abgesehen, hatte man auch ein Mittel erhalten, um die Beziehungen zwischen Atom und Molekül mit weit größerer Exaktheit als bisher auszumitteln. Die nunmehr sich anbahnenden weiteren Fortschritte der Typentheorie gehören übrigens nicht mehr in den Rahmen dieses Abschnittes.

Nur einiger nahe gleichzeitigen Arbeiten ist gleich jetzt schon Erwähnung zu thun; wir meinen die des Deutschen Kolbe (1818 bis 1884), einer der am meisten kritisch veranlagten Naturen, welche jemals in die Entwicklung der Chemie eingegriffen haben, und des Engländers E. Frankland (geb. 1825). Wir streiften schon kurz den Versuch, den Berzelius machte, durch Formulierung des Begriffes der Paarlinge oder gepaarten Verbindungen, welche jedoch nicht mit denjenigen von Gerhardt zusammengeworfen werden dürfen, seinem ins Schwanken geratenen Systeme eine festere Stütze zu verleihen. Aber ihm selbst, der eben doch damals die produktive Kraft seiner früheren Jahre nicht mehr im vollen Umfange besaß, konnte dies nicht gelingen, und wenn seine Idee desungeachtet für die Wissenschaft fruchtbar gemacht wurde, so hatte er dies dem Auftreten Kolbes zu danken. Mit ihm ging der etwas jüngere Frankland durchweg zusammen, zu welchem ersterer, als er von 1845 bis 1847 der Hilfsarbeiter L. Playfairs (geb. 1819) war, in nahe Beziehungen trat. Unter den einschlägigen Untersuchungen war wohl die bedeutsamste die elektrolytische Zerfällung der fettsauren Salze und speziell der sogenannten Valeriansäure. Zunächst glaubte Kolbe, als sich an der Anode Butyl abschied, das Radikal selbst aus der Verbindung abgespalten zu haben, aber wenn sich auch dieser Schluß nicht bewahrheitete, so war der Forscher doch tief in das Wesen der Paarverbindungen

eingedrungen, und die Fettsäuren wurden als Sauerstoffverbindungen der mit C_2 verbundenen Radikale erkannt, welch letztere ebensowohl Elemente (Wasserstoff) als zusammengesetzte Körper (Äthyl) sein konnten. Dem bereits bekannteren Kakodyl Bunsens trat als gleichwertig das Acetyl der Essigsäure zur Seite. Das Wort „Paarung" empfing unter den Händen Franklands einen von dem bisher dahinter vermuteten gänzlich abweichenden Inhalt, und es wurde nunmehr einem jeden Elemente eine für dasselbe charakteristische Sättigungskapazität zugeschrieben. Zur höchsten Reife gediehen die neuen Anschauungen allerdings erst in demjenigen Zeitraume, der dem, bis zu welchem sich gegenwärtiger Abschnitt programmgemäß auszudehnen hat, unmittelbar nachfolgt.

Unsere Darlegung galt in erster Linie den chemischen Theorien, welche ja gerade in den fünfzig bis sechzig Jahren, durch die das klassisch-französische Zeitalter von der Epoche einer beginnenden Selbständigmachung der organischen Chemie getrennt wird, die mannigfachsten Schicksale erfuhren. War von anderweiten Bereicherungen des Wissensstandes die Rede, so mußten dieselben doch, so wie es bei der Entdeckung von Kalium und Natrium durch Davy der Fall war, auch auf die Prinzipienlehre ihren Einfluß ausüben. Die Geschichte kann sich aber der Pflicht nicht entschlagen, auch solcher Arbeiten zu gedenken, die nur an und für sich, nicht aber gerade auch im Hinblick auf die höchsten Probleme, Interesse einflößen, und so liegt es uns denn jetzt ob, eine Nachlese zu halten und namentlich jene Ergebnisse der analytischen Chemie zu verfolgen, welche für Praxis und Technik Bedeutung gewinnen sollten.

Unter den Deutschen kann, wenn wir das Jahrzehnt vor und nach der Jahrhundertwende ins Auge fassen, wohl keiner den Vergleich aushalten mit Klaproth, der zuerst in unserem Vaterlande ganz offen auf die Seite Lavoisiers trat und die quantitative Analyse durch neue Verfahrungsweisen ausbildete. Sein Verdienst ist die Auffindung einer ganzen Anzahl neuer Elemente, des Urans, Titans und Cers; das Zirkonium, welches durch Entfernung des Sauerstoffs aus der Zirkonerde hervorgeht, ist ebenfalls auf Klaproth zurückzuführen. Viele Angaben anderer Forscher über verschiedenartige Stoffe wurden von ihm revidiert und berichtigt.

Neben zahlreichen Schriften, die man als Ratgeber für die analytische Technik in Ehren hielt, lieferte Klaproth auch als der erste ein Chemisches Wörterbuch (1807—1810). Bei A. v. Humboldts Untersuchungen über Luftanalyse, die allerdings erst nach der Rückkehr aus Amerika, als Gay-Lussacs Kraft die eigene verstärkt hatte, ihren Zweck voll erreichten, ist Klaproth Gevatter gestanden; beide hatten sich kennen gelernt, als der junge Bergassessor in der Berliner Porzellanmanufaktur den Prozessen anwohnte. Daß der Berliner Gelehrte auch zu den Begründern einer exakten Mineralwasserchemie zählt, mußte schon früher erwähnt werden, und wenn er also auch nicht mit den genialen Geistern auf die gleiche Stufe zu stellen ist, welche zu der nämlichen Zeit in Frankreich ihrer Wissenschaft ganz neue Bahnen vorzeichneten, so haben wir als Deutsche doch alle Ursache, auch ihn zu seinem Rechte gelangen zu lassen. Auch die beiden Zeitgenossen Klaproths, S. F. Hermbstaedt (1760—1833) und J. B. Trommsdorff (1770—1837), letzterer selbst der Sohn eines geachteten pharmazeutischen Schriftstellers, dürfen nicht vergessen werden, da sie auf dem Gebiete der angewandten Chemie anerkennenswerte Leistungen zu verzeichnen haben; ersterer deckte insbesondere die chemischen Regeln des Bleichereigewerbes auf, und letzterer gehört zu den ersten, die sich an der wissenschaftlichen Grundlage der Agrikulturchemie versuchten. Als Analytiker machten sich unter den Deutschen auch in jener Periode einen guten Namen J. F. A. Goettling (1755—1809) und W. A. Lampadius (1772—1842), der erste Verfasser eines selbständigen Lehrbuches der Elektrochemie (Freiberg i. S. 1817), welche neuerdings so kraftvoll emporgeblühte Disziplin wahrscheinlich auch von ihm ihren Namen empfangen hat; als er 1794 an die sächsische Bergakademie berufen ward, der er fast ein halbes Jahrhundert angehörte, war ein berechtigter Wunsch erfüllt worden, dem namentlich A. v. Humboldt kräftigen Ausdruck verliehen hatte.

Die Tafel der Elemente hat in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, wie eben die eigentliche Scheidekunst fortschritt, sehr beträchtliche Bereicherungen erfahren, und rein quantitativ hat die Folgezeit nicht mehr viel hinzuzufügen gehabt, wenn auch

freilich die Methodik der Auffindung solcher nicht weiter zerlegbarer Substanzen erst später einen ganz ungeahnten Aufschwung nahm. Teils unmittelbar vor, teils gleich nach 1800 wurde das Chrom durch Vauquelin, das Molybdän und Wolfram durch schwedische Chemiker, die sich an Scheeles bahnbrechende Vorarbeiten anschlossen, den Elementen hinzugesellt. Palladium und Rhodium gingen aus dem Laboratorium Wollastons von 1803 an hervor; gleich darauf (1804) zeigte S. Tennant (1761 bis 1815), daß in dem schwarzen Pulver, in welches sich Platinerze aufgelöst hatten, zwei Elementarmetalle, das Osmium und das durch seine unvergleichliche Härte ausgezeichnete, im Ural ziemlich häufig anzutreffende Iridium, als Bestandteile enthalten gewesen seien. Das Bor wurde 1809 gleichzeitig von Gay-Lussac und H. Davy aus der Borsäure abgeschieden, welche von den Dampferhalationsstätten (Soffioni) Toskanas in freiem Zustande geliefert wird und schon bei Lavoisier in dem Argwohne stand, ein neues Element in sich zu schließen. Indem Berzelius, von analoger Überlegung geleitet, die Kieselsäure untersuchte, stellte er aus ihr das Silicium dar (1810), ohne es allerdings zunächst, was ihm vielmehr erst dreizehn Jahre später gelang, vollkommen isolieren zu können. Auch die Schüler des Meisters arbeiteten in seinem Geiste fort; an ihrer Spitze J. A. Arfvedson (1792 bis 1841), der 1818 bei seiner Untersuchung wenig bekannter Mineralien, des Petalits und Lepidoliths, auf das Lithium geführt wurde. Der Lepidolith barg auch in sich das Rubidium und Caesium, zwei Elemente, welche späterhin spektralanalytisch als Bestandteile natürlicher Salzsoolen nachgewiesen werden konnten; K. F. Plattner (1800—1858) war der Entdeckung des Caesiums ganz nahe gekommen, aber zur Gewinnung der minimalen Mengen, in welchen dasselbe in der Natur vorkommt, reichten die vorhandenen Mittel nicht aus. Von Davys Meisterhand wurden die vier neuen Urstoffe Baryum, Strontium, Calcium und Magnesium in die Wissenschaft eingeführt, deren Verbindungen, zumal mit Quecksilber, schon zum öfteren einen Untersuchungsgegenstand, so für Klaproth und Seebeck, abgegeben hatten. Als Entdecker des Kadmiums (1817) wird

gemeiniglich Fr. Stromeyer (1776—1835) genannt, ein u. a. um die Ermittlung der Beschaffenheit niedergefallener Meteorite verdienter Chemiker; Poggendorff ist indessen der Meinung, daß die Priorität in dieser Hinsicht dem sehr tüchtigen Fabrikchemiker K. S. L. Hermann (1765—1846) gebühre, der sich denn auch im 59. Bande der Gilbertschen Annalen über die Entdeckungsgeschichte geäußert hat. Etwas später (1828) fand Woehler das Beryllium auf, dem bereits Vauquelin auf der Spur gewesen war, ohne es doch aus der als Beryll bekannten Mineralspezies herauspräparieren zu können. Unmittelbar zuvor war dem damals noch in Berlin wirkenden Woehler aber auch ein anderer Fund von unverhältnismäßig größerer praktischer Tragweite geglückt, nämlich die Abscheidung des Aluminiums, des leichtesten aller gegenwärtig bekannten Metalle, aus der Thonerde. Dasselbe gehört zu einer Familie, deren anderweite Glieder einstweilen noch in der Verborgenheit blieben; dagegen war der Schwede K. G. Mosander (1797—1858) so glücklich, die nebst Cerium und Yttrium in der diese beiden Grundstoffe umfassenden Gruppe enthaltenen vier Elemente Lanthanium, Didymium (?), Erbium und Terbium in den Jahren 1839—1843 darstellen zu können. Zu den Ruhmestiteln, welche Berzelius in sich vereinigte, gehören auch die neuen Elemente Titan und Thorium, welche von 1828 an den großen Chemiker beschäftigten. Nur wenig fehlte, daß Sefström, mit dem wir im nächsten Abschnitte mehr zu thun bekommen werden, auch das Vanadium in seiner Haupteigenschaft erkannt hätte; indessen wurde dieser entscheidende Schritt erst in den sechziger Jahren gethan. Es bedarf wohl kaum eines Hinweises darauf, daß neben den hier besonders erwähnten Experimentalarbeiten noch viele andere hergingen, die zum großen Teile deshalb nicht weniger bedeutend sind, weil sie nicht durch den — bis zu einem gewissen Grade meist zufälligen — Erfolg der Darstellung eines neuen Elementarstoffes gekrönt wurden. Dahin gehören vor allem die zahlreichen Untersuchungen über das Platin, seine Verbindungen und seine elementaren Analogien; man wußte, daß ersteres, dessen wahre Natur bereits 1852 feststand, in Südamerika, in Skandinavien und im Ural gediegen vorkommt, aber

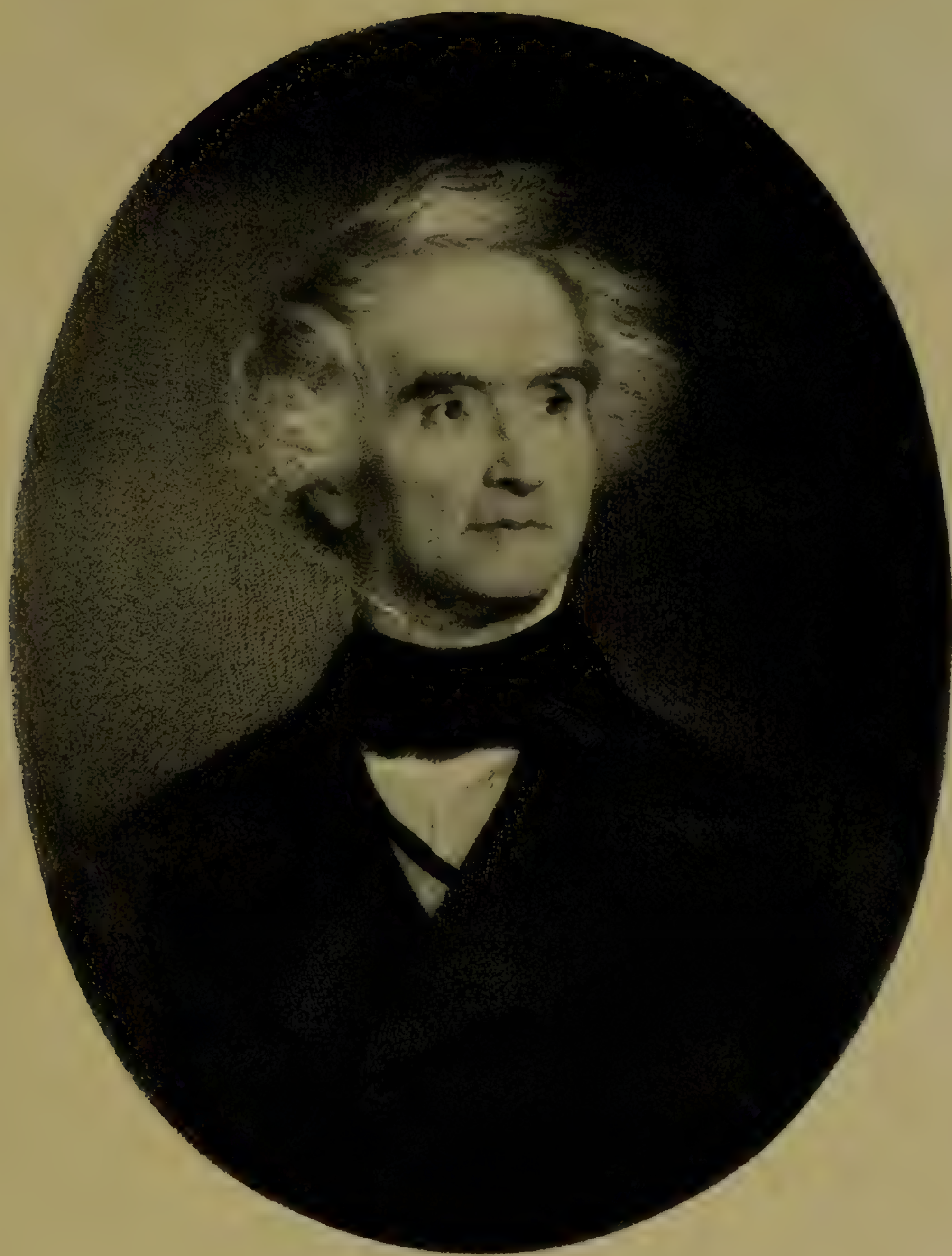
man drang in der Technik, dasselbe aus seinen Erzen abzuscheiden, nur ganz allmählich vor. Bei solcher Gelegenheit überzeugte sich Th. Graham von der gewaltigen Absorption des Wasserstoffes durch Palladium.

Einen wichtigen Mittelpunkt selbständiger Forschung bildeten auch die Verbindungen, welche Stickstoff, Phosphor, Arsen und Antimon mit Wasserstoff, Sauerstoff und gewissen Halogenen eingehen. Thénard und H. Rose (1795—1864) haben dieses Arbeitsfeld besonders eifrig bebaut. Großes Aufsehen machte der Arsenwasserstoff, mit dem experimentierend der wackere Gehlen, dessen eigenartige Doppelstellung zwischen Naturphilosophie und Empirie unser zweiter Abschnitt beleuchtete, seinen allzu frühen Tod fand. Die forensische Chemie griff eifrig das von J. Marsh (1790—1846), dem langjährigen Mitarbeiter Faradays, angegebene Verfahren auf, mittelst des sogenannten Arsenikspiegels auch die kleinsten Teile dieses verderblichen Giftes in den Leichenteilen nachzuweisen. Salpetersäure, Untersalpetersäure und salpetrige Säure wurden ebenfalls in ihrer Verschiedenheit des näheren bestimmt; unter den auf diesem Arbeitsfelde beschäftigten Chemikern ist vornehmlich H. E. Ste. Claire-Déville, der Bruder eines sehr bekannten Geologen, anzuführen. Ortho-, Pyro- und Metaphosphorsäure wurden einander ebenso von Gay-Lussac und Stromeyer gegenübergestellt. Der Chlorstickstoff brachte Dulong, der seit 1816 die Darstellung verwandter Verbindungen ins Auge gefaßt hatte, zwar große Anerkennung, aber auch beinahe den Tod, denn die explosive Eigenart mancher Chemikalien konnte eben auch erst auf dem Erfahrungswege festgestellt werden. Den von Lampadius entdeckten Schwefelkohlenstoff prüften 1802 Clément und Desormes auf seine Eigenschaften, ohne jedoch schon zu vermuten, welche Rolle diese Substanz dereinst noch zu spielen berufen sein werde. Eine sichere Methode zur quantitativen Bestimmung des Stickstoffs wurde 1830 von Dumas angegeben. Dem Jahre 1818 verdankt das von J. N. Fuchs dargestellte Wasserglas, eine für die Erhaltung von Freskogemälden unentbehrlich gewordene Verbindung von Kalium und Kieselsäure, seine Entstehung. Drei

Jahre nachher entzog Doebereiner dem Alkohol seinen Wasserstoff und kam so auf das Aldehyd, das allerdings erst später unter den Händen Liebigs in seiner theoretischen Bedeutung voll erkannt und zugleich als ein wichtiges Vehikel sowohl der Toilettenchemie wie auch der Hygiene — das Formaldehyd eignet sich sehr gut zur Desinfektion — in Gebrauch genommen wurde. Das Jahr 1823 brachte K. S. Schützenbachs (1793—?) neues Verfahren der Schnell-Essigfabrikation, dem sich später ein solches der Zuckerbereitung aus getrockneten Rüben anreihte, und 1824 wurde in der englischen Fabrikstadt Leeds zuerst Portland-Cement fabriziert. Die Bernsteinsäure wurde 1828 von O. Unverdorben (1806—1873) als im Bernstein stets vorhanden nachgewiesen. Die Mineralanalyse wurde nächst Berzelius am meisten durch H. Rose gefördert, und die Hüttenkundigen kultivierten besonders die als Probierkunst bezeichnete Arbeit mit dem Lötrohre, worüber der uns bekannte Plattner sich zuerst (1835) in einem selbständigen Werke verbreitete, während der Mineraloge Hausmann den Nutzen dieses Werkzeuges bei seinen petrographischen Untersuchungen erkannte. Bunsen und A. W. H. Kolbe zeigten nahe gleichzeitig, daß es außer der früher vielfach gepflegten Eudiometrie, welche sich wesentlich auf die Erforschung der Zusammensetzung der atmosphärischen Luft beschränkte, noch andere Aufgaben einer rationellen Gasanalyse gäbe; ersterer war zu diesem Studium durch die Betrachtung der aus Hochöfen entweichenden Gase angeregt worden.

Diese letzteren Bethätigungen chemischer Technik weisen bereits darauf hin, daß die praktische Anwendung der in wenigen Dezennien rapid fortgeschrittenen Wissenschaft immer größere Erfolge erzielen mußte. Die früher nur unter dem physikalischen Gesichtspunkte betrachtete Photographie hatte vor allem auch einen chemischen Hintergrund und gab um die Zeit, da die uns jetzt beschäftigende Periode ihr Ende erreicht, den Anstoß zur Ausbildung der Photochemie, welche von Bunsen und H. E. Roscoe (geb. 1833) in die Hand genommen ward und methodisch feststellen sollte, in welchem Maße die einzelnen Lichtstrahlen des Spektrums

auf verschiedene chemische Verbindungen zersetzend wirken. Die Chemie des Tierkörpers, erwähntermaßen zuerst durch Berzelius auf eine höhere Stufe gehoben, fand nunmehr auch ihren richtigen Platz im Gesamtgebiete der Wissenschaft, und G. J. Mulder (1802—1880) schuf in holländischer Sprache ein erstes System der physiologischen Chemie, dessen Überführung ins Deutsche gegen Ende der vierziger Jahre durch Kolbe, H. Limpricht (geb. 1827) und G. H. E. Schnedermann (1818—1881) besorgt ward. Er war auch einer der ersten unter Denen, die die Chemie des Brauprozesses und des Bieres — lange Zeit ein Tummelplatz bloßer Routine — exakt wissenschaftlich bearbeitet haben. Die spezielle zoochemische Analyse war ein Spezialgebiet von E. F. v. Gorup-Besanez (1817—1878), der auch zusammen mit A. F. L. Strecker (1822—1871) als um die Erforschung der Absonderungsaktion der Galle besonders verdient zu nennen ist. Die Chemie des Blutes und der Muskelfasern bildete K. E. H. Schmidt (1822—1894) aus; die Analyse der ätherischen Pflanzenöle war wesentlich K. J. Loewigs (1803 bis 1890) Arbeitsfeld, dessen „Lehrbuch der Chemie" von 1832 auch viele Jahre großen Einfluß auf die Heranbildung junger Chemiker ausgeübt hat. Hiermit in naher Verbindung steht die Gärungschemie, zu welcher Lavoisier den Grund gelegt hatte, und welche Liebig seit 1839 auf den höchsten Punkt der Vollendung gebracht zu haben schien, bis sich nachmals ergab, daß ein Moment von fundamentaler Bedeutung, nämlich die Mitwirkung kleinster Lebewesen, übersehen worden war. Der eigentliche Begründer einer exakten Giftlehre oder Toxikologie, wie sie von der gerichtlichen Medizin gefordert werden muß, ist M. J. B. Orfila (1787 bis 1853) gewesen, neben dem auch Stas, der Entdecker der Gefährlichkeit des Nikotins, erfolgreich wirkte. Auch Deutsche, unter denen Fresenius, F. J. Otto (1809—1870) und K. F. Mohr (1806—1879) am meisten hervortreten, haben der forensischen Chemie wertvolle Dienste geleistet, wie denn das Verfahren von Stas-Otto zur Isolierung gewisser gesundheitsschädlicher Alkaloide bleibenden Wert für Exhumierungen und ähnliche Verrichtungen des Gerichtschemikers behalten hat.



Justus v. Liebig

J. Bankel sculps. F. Bruckmann ed.

Eine mächtige Entfaltung ist auch hinsichtlich der Anwendung der Chemie in der Industrie zu konstatieren. Noch vor hundert Jahren stand es traurig um das Beleuchtungswesen sowohl in den Straßen wie im Zimmer, und erst durch Chevreuls früher genannte Fettanalyse wurde die seit 1825 im großen Stile betriebene Fabrikation der Stearinkerzen ermöglicht, zu denen, nachdem K. v. Reichenbach (1788—1869) aus Holztheer und bituminösen Schiefern einen verwandten Stoff herauszuziehen gelehrt hatte, seit 1830 auch die Paraffinkerzen hinzutraten. Mit den Beleuchtungsmitteln hielten die Zündmittel in ihrer Ausbildung gleichen Schritt. Zwar waren Kienspan, Fidibus und Stein-Zunder nicht leicht zu vertreiben, und die auf einem nicht-chemischen Prinzipe beruhende Zündmaschine von J. W. Doebereiner (1780 bis 1849) konnte ihres nicht seltenen Versagens halber zu allgemeinerem Gebrauche nicht durchdringen; ja auch die seit 1812, freilich zunächst noch in äußerst rudimentärer Form, gebrauchten Zündhölzer erwarben sich nur ganz allmählich ihr Publikum. Die Phosphorhölzer brachten 1833 eine Umwälzung zuwege, obwohl auch ihnen der schlimme Ruf der Unsicherheit und Gefährlichkeit noch lange anhaftete. Erst als 1848 der amorphe, ungiftige Phosphor erfunden worden war, fand die bequeme Vorrichtung in allen Kreisen Eingang. Die erste Straßenbeleuchtung mit Gas, das man der Steinkohle abgewonnen hatte, wurde 1812 in London, 1826 in Berlin eingeführt, während die Chinesen es schon im frühen Mittelalter verstanden hatten, das an vielen Orten dem Boden entströmende Naturgas in Röhren aus Bambus nach der Stelle zu leiten, an welcher man es in Brand zu setzen wünschte. Das Leuchtgas aus Holz zu gewinnen, hatte 1851 M. Pettenkofer (geb. 1818) gelehrt, doch machte das Holzgas in der Praxis den Mineralgasen keine nachhaltige Konkurrenz.

Für die Farbenchemie wurde bahnbrechend eine Entdeckung, welche der Russe N. Zinin (1812—1880) im Jahre 1841 machte, und welche sodann den Anlaß zu einer großartigen Versuchsreihe A. W. Hofmanns darbot. Das Anilin, das zwar auch früher schon F. F. Runge (1795—1867) bemerkt, in seinem wahren

Werte jedoch nicht erkannt hatte, stammt aus dem anscheinend wenig ansprechenden Steinkohlentheer; dieser ungemein nützliche Stoff lieferte auch die Kreosotöle, deren man sich zur Imprägnierung der hölzernen Bahnschwellen bedient, und das zum Tilgen von Fettflecken unvergleichliche Benzin. Es wird später zu erörtern sein, daß in eben dieser Masse die wichtigsten Arzneistoffe der neuesten Zeit potentiell enthalten sind, zumal verschiedenartige Süßstoffe. Die von Marggraf im Jahre 1747 bethätigte Erfindung des Rübenzuckers, dessen Herstellung F. K. Achard (1753—1821) mit Unterstützung der preußischen Könige im Großen betrieb, hatte auch eine vorteilhafte Rückwirkung auf die Chemie des Landbaues, für welche man die Staßfurter Abraumsalze ausnützen lernte. Von Liebigs Verdiensten um eben dieses Fach muß noch besonders gesprochen werden.

In die physikalische Chemie, die ja vorläufig noch kein Sonderdasein zu führen in der Lage war, gehören die Explosivkörper, deren Erfindung und Erforschung seit den vierziger Jahren sich in rascherem Tempo bewegte. An der Spitze steht die Darstellung der sogenannten Schießbaumwolle, deren Entdecker Schoenbein war, während auch Boettger und J. Otto sich um die Darstellung dieses vielfach das Pulver ersetzenden Stoffes verdient gemacht haben. Im gleichen Jahre 1845 verband Schoenbein sein Präparat mit Alkohol und Äther und sah sich so im Besitze der Kollodiumwolle, welche in ihrer Lösung das bekannte dünne, in der Chirurgie ebenso wie in der Photographie zu wichtiger Anwendung gelangte Häutchen liefert. Zwei Jahre später ging aus Laboratoriumsversuchen von A. Sobrero (1812—1888) und T. J. Pelouze (1807—1867) das Nitroglyzerin (Knallglyzerin) hervor, dessen furchtbare Kraft der Welt allerdings erst fünfzehn Jahre später zum Bewußtsein kommen sollte. Eine folgenreiche Verbindung zwischen Physik und Chemie, d. h. der Naturlehre der molaren und der Naturlehre der molekularen Kräfte bahnte F. M. H. Kopp (1817—1892) 1841 an, indem er systematisch die spezifischen Gewichte von Elementen und Verbindungen studierte. Ebenderselbe that dar, daß die Art der Zu-

sammensetzung eines Körpers sich in dessen Siedetemperatur wiederspiegle; es war damit der Thermochemie ein zu großen Erfolgen führender Pfad vorgezeichnet, einer Disziplin also, die schon früher, sowohl durch Dumas wie auch durch Favre und Silbermann in den oben zitierten Arbeiten über Verbrennungswärme, ihre Berechtigung dokumentiert hatte. Wenig bekannt geworden und erst von neueren Historikern in das richtige Licht gerückt, erheischt auch besondere Beachtung der 1840 von G. H. Heß (1802—1850) in St. Petersburg geführte Nachweis, daß dem molekularen Akte, welcher die Entstehung irgend einer Verbindung zur Folge hat, ein gewisser Aufwand von Wärme entspricht, einerlei, in wieviel Absätzen sich dieser Akt vollzog.

Hiermit brechen wir unsere Aufzählung der bedeutsameren chemischen Leistungen ab, welche die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts zu verzeichnen hatte. Unser Überblick wird jedoch genügen, um einigermaßen über das gewaltige Maß geistiger Kraft zu orientieren, welches Lavoisiers Nachfolger daran setzten, um die von ihrem großen Vorbilde aus dem Banne unkontrollierbarer, halb mystischer Vorstellungen erlöste Wissenschaft zu einem exakten, möglichst hypothesenfreien Teile der allgemeinen Lehre von der Natur um- und auszugestalten. Behilflich war ihnen dabei die Leichtigkeit des geistigen Verkehrs unter den Fachgenossen, welchen die großen Zeitschriften in den verschiedenen Ländern vermittelten. Von den „Annales de Chimie et de Physique" war ebenso wie von Poggendorffs „Annalen der Physik und Chemie" schon früher Notiz zu nehmen; in Deutschland fiel auch den seit 1832 von Liebig herausgegebenen „Annalen der Chemie und Pharmazie" eine hochwichtige Aufgabe zu, und für alle technischen Anwendungen bildete das von dem Augsburger Fabrikanten J. G. Dingler (1778—1855) begründete, gleichfalls bis zum heutigen Tage blühende „Polytechnische Journal" das unerschöpfliche Repertorium.

Dagegen war der chemische Unterricht in jenen Jahren auch nicht annähernd so vorzüglich organisiert, wie er dies in den letzten Jahrzehnten nach und nach geworden ist, und um so höheres

Lob muß man den großen Lehrern zollen, welche unter oft ärmlichen Verhältnissen jüngere Generationen zum chemischen Denken und Schauen zu erziehen verstanden. In Frankreich freilich lagen die Dinge von Anfang an günstiger, und wir wissen, wie die geistvollen Experimentalvorträge eines Gay-Lussac und Thénard dem jungen Liebig imponierten. Auch Großbritannien hatte frühzeitig den richtigen Weg betreten. Nicht bloß die großen Mittel der Royal Institution, an welcher H. Davy wirkte, dessen glänzende Vorlesungszyklen den jungen Faraday in seine Laufbahn riefen, dienten teilweise didaktischen Zwecken, sondern auch andere Anstalten verbanden die Lehre mit Praxis und Forschung. So war beispielsweise das Laboratorium von Guys-Hospital die Stätte, an welcher der nach London übergesiedelte Genfer A. Marcet die Chemie so anregend lehrte, daß der ihn hörende Berzelius, keineswegs mehr ein Anfänger in seinem Fache, die Notwendigkeit einer Reform des akademischen Lehrberufes erkannte und von da an nicht mehr aufhörte, den Vorlesungsversuch als den Mittelpunkt des Unterrichtes zu betonen. Das chemische Institut, welches nachmals der Prinzgemahl Alfred begründete, und welches durch die Berufung A. W. Hofmanns (1818—1892) zu verdienter Berühmtheit gelangte, beruhte auf dem gleichen Grundgedanken einer innigen Verbindung der beiden Hauptpflichten des Hochschullehrers, positives Wissen mitzuteilen und zu selbständiger Forschung zu erziehen.

Die Anzahl der diesem Ideale gerecht werdenden Universitäten war jedoch in Deutschland, dem wir in dieser Epoche auch Österreich-Ungarn anzugliedern gehalten sind, noch eine geringe. Das kleine Altdorf hatte zwar schon im 17. und 18. Jahrhundert, unter der geistigen Führung der beiden Mediziner Hofmann, ein trefflich eingerichtetes Laboratorium besessen, und seit 1740 etwa hatte auch Göttingen, wo A. v. Hallers Einfluß bestimmend war, die damals für die Heilkunde als notwendig erachteten Institute erhalten. Aber noch um 1840 konnte weder in Berlin noch in Wien ein regelrechter Lehrgang in der Chemie eingehalten werden, wie ihn die Zeit erfordert hätte, und nur stellenweise bestanden gut eingerichtete Werkstätten der Wissenschaft, vorab in Göttingen

unter Woehler, in Marburg unter Bunsen, in Leipzig unter O. L. Erdmann (1804—1869), dessen „Journal für praktische Chemie" zumal die Interessen der chemischen Technologie förderte. Den Zentralpunkt jedoch, den Wallfahrtsort für fleißige Studierende nicht minder wie für angehende Gelehrte, die an ihre Fachbildung die letzte Hand zu legen gewillt waren, bildete im zweiten Viertel des Jahrhunderts das kleine Gießen. Man hat Justus Liebigs Kabinett mit dem trojanischen Pferde verglichen, und in der That sind aus jenem gar viele für den Kampf mit den Geheimnissen der Natur trefflich gewappnete Kämpen hervorgegangen: ein A. W. Hofmann, Strecker, Fresenius, Frankland, Wurtz, Williamson — um nur einige der Namen hervorzuheben, die uns in diesem Abschnitte wiederholt entgegengetreten sind. In dieser Persönlichkeit liegt etwas so Außerordentliches, daß wir es für erlaubt und geboten halten, etwas mehr denn sonst auf das persönlich-biographische Element einzugehen — und zwar um so mehr, da wir ja einen wichtigen Zeitpunkt im Leben des Mannes unserer Darstellung als Grenzstein gesetzt haben.

Unzureichende Begabung für das Studium der alten Sprachen hatte den jungen Justus Liebig (1803—1873) in die Apothekerlaufbahn gedrängt, und diese nötigte zum Studium der Pharmazie in Erlangen und Bonn. An ersterer Universität dozierte damals der Apotheker E. W. Martius (1756—1849), ein sehr geachteter Chemiker, dessen Sohn T. W. C. Martius (1796—1863) an der gleichen Hochschule die bedeutendste pharmakognostische Sammlung seiner Zeit zusammenbrachte. Gut vorbereitet, konnte Liebig in Paris seine wissenschaftliche Bildung rasch derart abrunden, daß ihm schon 1824, auf A. v. Humboldts Empfehlung hin, ein Extraordinariat in Gießen zu teil wurde, welches 1826 in ein Ordinariat überging. Durch achtundzwanzig Jahre ist er, seit 1842 Freiherr v. Liebig, dieser Stellung treu geblieben. Es ist erstaunlich, zu sehen, welche Reihe gewichtiger Arbeiten in diesem Zeitraume von dem Musterlaboratorium Deutschlands ausgegangen ist, wenn man doch bedenkt, was der geniale Mann zugleich für seine Freunde, Schüler und Praktikanten war. Sein Name ist

uns in diesem Abschnitte so häufig begegnet, daß eine nochmalige Skizzierung seiner Verdienste auf sich beruhen kann; doch muß hervorgehoben werden, daß es kaum ein Spezialgebiet der analytischen und organischen Chemie giebt, auf dem seine Thätigkeit nicht dauernde Spuren zurückgelassen hätte. Seine wichtigsten Erfolge im Bereiche der Ernährungschemie gehören einer späteren Periode an, aber durch seine „Untersuchungen über einige Ursachen der Säftebewegung im tierischen Organismus“ (Braunschweig 1848) ist der Gang, den seine Arbeiten nahmen, bereits angedeutet, und seine „Tierchemie“ (ebendort 1842) gab den sich hierfür Interessierenden das erste Lehrbuch in die Hand. Noch aber hatte, wenn man von halb spielenden Versuchen, so z. B. von den in ihrer Art ja ganz verdienstlichen technologischen Schriften J. H. M. Poppes (1776—1854), absieht, niemand sich ernstlich dem Wagnis unterzogen, die Chemie zu popularisieren; Liebig wagte es, und sein Triumph war ein durchschlagender. „Chemische Briefe“ wurden von ihm zuerst in der „Beilage der Allgemeinen Zeitung“ veröffentlicht, und bald stellte sich die Notwendigkeit heraus, eine Buchausgabe derselben zu veranstalten. Die erste Auflage erschien 1844, die sechste (posthum) 1878, und die Übertragung des ungemein glücklich angelegten Werkes, welches der im Publikum noch so wenig bekannten Wissenschaft eine breite Gasse brach, in fünf fremde Sprachen giebt wohl den genügenden Beweis dafür, welche Anregung ihm zu danken war. Die im Herbst 1852 an ihn gelangte Berufung nach München konnte sich Liebig nur schwer anzunehmen entschließen. Allein König Maximilian II. hatte den festen Willen, seine Residenz, die bisher hauptsächlich Kunststadt gewesen war, auch zu einem Emporium der Wissenschaft zu erheben, wie dies zahlreiche Berufungen ausgezeichneter Männer bekundeten. Eine persönliche Besprechung entschied; die Liebenswürdigkeit des Königspaares erreichte, was die Darbietung äußerer Vorteile nicht vermocht haben würde. „Ich habe mich verkauft,“ sagte Liebig zu seinem künftigen Kollegen, dem ihm nahe stehenden Pettenkofer.

Noch über zwanzig Jahre war dem großen Chemiker in der neuen Heimat zu wirken vergönnt; eine allen Erfordernissen ent-

sprechende Anstalt für Forschung und Lehre hat er hier begründet, und die Saat, die er auch hier ausstreute, ist reichlich aufgegangen. Die bedeutungsvollen Arbeiten agrikulturchemischer Natur datieren größtenteils aus dem Münchener Lebensabschnitte. Schapers schönes Denkmal aber hält im Volke das Andenken an den genialen Forscher aufrecht, dessen ganzes Wirken von dem Gedanken durchdrungen ist, daß die Früchte stillen Forscherfleißes möglichst der großen Allgemeinheit zu gute kommen müssen.

Zehntes Kapitel.

Die Geologie auf dem Wege von L. v. Buch zu Ch. Lyell.

In unserem ersten und vierten Abschnitte war die Geschichte der Geologie bereits gestreift worden. Wir wissen, daß bis in die ersten Jahrzehnte des neuen Jahrhunderts die Freiberger Schule unter ihrem Meister Werner die Oberhand hatte, und zwar nicht allein in Deutschland, sondern auch im übrigen Europa. Die wirklichen Geologen jener Zeit waren fast durchweg für den praktischen Bergbau herangebildet worden, und die unscheinbare sächsische Stadt wurde das Ziel sehr zahlreicher Ausländer, welche hier das Zeugnis erwerben wollten, das ihnen den Zugang zu Stellungen im Berg- und Hüttenfache eröffnen sollte. Wie ungemein schwer es diesen Männern wurde, sich dem Gedankenkreise, in den Werners Kollegien einführten, wieder zu entwinden, das wird wahrhaft drastisch belegt durch das Beispiel seiner beiden hervorragendsten Schüler, A. v. Humboldts und L. v. Buchs.

Dem ersten der beiden ist ein eigener Abschnitt gewidmet worden, weil er für die gesamte Naturwissenschaft in der ersten Hälfte des Jahrhunderts eine geradezu beherrschende Stellung einnimmt; dem zweitgenannten wird eine solche Stellung wenigstens für diesen Abschnitt eingeräumt werden müssen, und wenn wir seinen Namen auch in dem Titelworte nannten, so thaten wir dies mit der Absicht, grundsätzlich uns der Zeit nach auf die Jahresfolge zu beschränken, welche durch den Stempel seines Geistes überhaupt gekennzeichnet ist. Christian Leopold v. Buch (26. April 1774



Leopold v. Buch

C. Begas lith.

bis 4. März 1853) hat reformatorisch auf dem weiten Felde der Geologie gewirkt, und wir haben ein gutes Recht, die Geschichte dieser Wissenschaft zunächst gerade mit dem Augenblicke, da er aus diesem Leben schied, ihren Abschluß finden zu lassen. K. A. v. Zittel (geb. 1839), der Historiker der Geologie und zugleich einer ihrer ersten Systematiker, bezeichnet die Periode, während deren v. Humboldt und v. Buch ohne Widerspruch an der Spitze stehen, als die heroische. Freilich bahnt sich, noch während ihre Signatur ganz ungeschwächt in Kraft zu stehen scheint, ein unverkennbarer Umschwung an, in dessen Folge eine neue, mit der Grundanschauung v. Buchs in schärfstem Widerspruche stehende Auffassung der erdgeschichtlichen Thatsachen die Herrschaft gewann. Der auch als Charakter gewaltige Mann, der — unter schweren Gewissensbedenken, wie man es wohl nennen darf — Werner von seinem Throne gestoßen hatte, mußte noch bei Lebzeiten das Wanken des stolzen, von ihm selbst errichteten Lehrgebäudes konstatieren, obwohl die ungeheuchelte Verehrung, welche ihm von allen Fachleuten, die sachlichen Gegner nicht ausgeschlossen, gezollt ward, den Eindruck, daß v. Buch an Ansehen eingebüßt habe, durchaus nicht aufkommen ließ. Die Gemütsart spiegelte sich, so mag Mancher denken, auch in den wissenschaftlichen Prinzipien wieder. Eine heroische Natur an Geistes- und Körperkraft, liebte v. Buch auch bei der Erklärung der natürlichen Vorkommnisse die heroischen Mittel und wurde so, und zwar zugleich mit seinem etwas älteren Zeitgenossen G. L. C. F. D. v. Cuvier (1769—1832), der Begründer der geologischen Katastrophenlehre, deren Vertreter von den im Stillen schaffenden Naturgewalten gering dachten und die unleugbar tief gehenden Veränderungen, welche das Antlitz der Erde im Laufe der Zeiten über sich ergehen lassen mußte, hauptsächlich gewaltsamen Umwälzungen zuschrieben, wie dies teilweise schon das griechische Altertum in seiner Lehre von der *ἀποκατάστασις* gethan hatte, welche bewirken sollte, daß alles Land von Wasser überdeckt und umgekehrt das Meer in Festland verwandelt werden werde. Unter den Gegnern dieser Lehre, den geologischen Quietisten, machte schon frühzeitig Charles Lyell (14. November 1797 bis 22. Februar 1875) am meisten von sich reden. Die „Actual Causes“, die

Wirkungen, welche alltäglich und allstündlich vor unseren Augen geschehen und an und für sich zwar nur ganz unbeträchtlich sind, durch ihre Summation im Laufe sehr langer Zeiträume aber zu jeder beliebigen Größe ansteigen können, sprach Lyell als den in der Geologie eigentlich stimmführenden Faktor an, und die jüngeren Generationen haben sich mit solcher Entschiedenheit auf seine Seite gestellt, daß man durch einzelne gewaltige Kraftäußerungen der Natur, welche seitdem in die Erscheinung getreten sind, fast überrascht ward, indem man zugestehen mußte, daß unter Umständen doch auch jähe Durchbrechungen des in der Erdkruste obwaltenden Gleichgewichtes von den großartigsten morphologischen Folgen begleitet sein können.

Nach Werner, dessen Aufstellungen, wie gesagt, in Deutschland lange keinem ernsthaften Widerspruche begegneten, zerfiel derjenige Teil der Erdrinde, welcher der Erforschung überhaupt zugänglich ist, in vier große Stockwerke, die, von unten nach oben gerechnet, als Urgebirge, Übergangsgebirge, Flözgebirge und aufgeschwemmtes Gebirge unterschieden wurden. Alle diese Schichten hatten sich, so nahm man an, aus dem dereinst den fraglichen Teil der Erdoberfläche bedeckenden Wasser niedergeschlagen; auch Granit und Basalt befanden sich in diesem Falle, so daß für die vulkanischen Gesteine, in denen man Emissionsprodukte unterirdisch brennender Schwefelkies- und Kohlenlager erblicken wollte, kein großer Bereich übrig blieb. Gebiete, in denen sich die Aktion ehemaliger Vulkane deutlich aussprach, galten als pseudovulkanisch; so bezeichnete L. v. Buch in seiner ersten, peinlich nach Werner zurechtgemachten Arbeit über die Umgebung Karlsbads die dort so häufigen Spuren des unterirdischen Feuers. Allein schon in Schlesien, wo ersterer als Bergreferendar umfassendere geognostische Aufnahmen zu leiten beauftragt war, wollten ihm die Verhältnisse, von denen er sich namentlich im Glatzer Kessel umgeben sah, nicht recht stimmen zu dem, was in seinen Kollegienheften stand, und großenteils unter der Einwirkung dieser Dissonanz faßte er den Entschluß, sich durch Reisen in fremden Ländern eine umfassendere Kenntnis der Schichtungslehre und des Gebirgsbaues anzueignen. Wir werden sehen, in wie großartigem

Stile er diesen Plan, der ihm selbstredend den Verzicht auf eine weitere Laufbahn im preußischen Staatsdienste auferlegte, zu verwirklichen gewußt hat. Von früher her wissen wir, daß A. v. Humboldt, der ja zu v. Buch in innigem, durch die schroffste Charakterverschiedenheit beider höchstens vorübergehend getrübtem Freundschaftsverhältnis stand, völlig den gleichen Ideen nachlebte, und so machten die Freunde denn auch eine große, von reichen wissenschaftlichen Erfolgen zeugende Reise in die bayerisch-österreichischen Alpen gemeinschaftlich, um sodann in sehr verschiedenen Richtungen auseinanderzugehen und sich später wieder zu vereinigen. Wie schon angedeutet, kostete es dem kritischen Geiste und pietätvollen Gemüte v. Buchs eine wirkliche Anstrengung, sich von dem Wernerschen Systeme, dessen Geltung er wenigstens für einen beschränkteren Teil Mitteldeutschlands noch lange zu retten bestrebt war, vollständig loszusagen, wogegen sein lebhafterer und Anregungen von außen zugänglicherer Freiberger Genosse diesen Schritt schon früher gethan hatte, als er im Krater des Piks von Tenerife den glühenden „Basalt"-Brei zu seinen Füßen brodeln sah. Als nach Beendigung der amerikanischen Reise (1805) v. Humboldt, v. Buch und Gay-Lussac zusammen den Vesuv bestiegen, der ihnen zu Ehren ein kleines Feuerwerk veranstaltete, da gab der konsequente Wernerianer zwar zu, daß diese Phänomene im Wernerschen Lehrgebäude keinen Platz finden könnten, lehnte es aber noch immer ab, die neu gesammelten Erfahrungen sofort für die Erklärung der deutschen Basaltbildungen zu verwerten, deren Entstehung doch möglicherweise eine ganz andere sein könne. Gleichwohl war auch bei dem treusten Jünger der Glaube an jenen einseitigen Neptunismus erschüttert, in dem sich Werner, und mit ihm der in zahlreichen Gedichten und Gelegenheitsaussprüchen den Plutonismus grimmig befehdende Goethe, kaum genug hatten thun können, und eine Wendung bereitete sich vor, die sich um so radikaler gestalten sollte, je länger sie durch Skrupel aller Art hintangehalten worden war. Mit v. Buch hielt am längsten J. K. Freiesleben (1774—1846) im Wernerschen Gedankenkreise aus, wozu er, der Sachsen stets nur für kürzere Zeit verließ und als höherer Bergbeamter an die Scholle gefesselt war, auch

die meiste Veranlassung hatte. Ein feiner Beobachter, dessen mündlicher Unterweisung A. v. Humboldt zugestandenermaßen seine große Vertrautheit mit der unterirdischen Welt verdankte, hat sich Freiesleben um eine genauere Gliederung der deutschen Mittelgebirgsschichten große Verdienste erworben und die Perm- und Triasformation so scharf in Schichtenkomplexe zerlegt, als dies ohne die stete Berücksichtigung der organischen Einschlüsse möglich war. Nicht als ob diese vernachlässigt worden wären; auch sie wurden beschrieben, aber doch nur als lokale Merkwürdigkeiten, etwa wie die nutzbaren Mineralien, aber noch ohne die Erkenntnis, daß allein durch sie bei gestörter Schichtenlage die relative geologische Altersbestimmung ermöglicht werde. Damals hielt man noch an einem Irrglauben fest, von dem sich A. v. Humboldt bis in seine höheren Lebensjahre hinein nicht gänzlich frei zu machen vermochte, indem man wähnte, einzig und allein durch mineralogisch-petrographische Kennzeichen entscheiden zu können, welche von zwei Schichten die in früherer Zeit abgesetzte ist. In umfassenderem Maße begründete v. Buch das exakte paläontologische System der Altersbestimmung, eignete jedoch selber das Verdienst, die ersten Schritte gethan zu haben, einem anderen zu. Will man strengste historische Gerechtigkeit üben, so muß man bei dem Deutschböhmen J. v. Born (um 1780) den Keim der richtigen Würdigung der Fossile oder Petrefakten anerkennen; in Spezialfällen aber haben W. Smith (1769—1839) und P. G. Deshayes (1796—1896), der an der geologisch-zoologischen Forschung dreier Menschenalter eifrigen Anteil nahm, die Versteinerungskunde zur Richtschnur bei der Lösung einer früher ganz unzugänglich erscheinenden Aufgabe gewählt. Doch geschah dies erst um 1830, und lange zuvor schon hatte v. Buch ganz korrekte Ansichten über die Grundfrage bekannt gegeben. Es war die Frage aufgetaucht, ob der Kalkfels, der nächst Segeberg aus der flachen holsteinschen Tiefebene aufragt, nicht vielleicht von derselben Beschaffenheit mit dem Gesteine des damals viel untersuchten Pariser Beckens sei, und darauf gab der weitsichtige Mann lange vor Deshayes' Eingreifen die zutreffende Antwort, hierüber könne man erst dann eine Entscheidung treffen, wenn man die Versteinerungen beider Örtlichkeiten miteinander verglichen haben werde.

Nur auf großbritannischem Boden hatte Werner keine namhaften Eroberungen gemacht, und auch in Italien, wo man mit dem Vulkanismus denn doch nähere Beziehungen unterhielt, als dies im Erzgebirge geschehen konnte, ging man teilweise seinen eigenen Weg. James Huttons (1726—1797) „Theory of the Earth", 1788 zuerst im Auszuge und 1795 in einem zu Edinburgh erschienenen Werke veröffentlicht, suchte eine scharfe Grenze zu ziehen zwischen sedimentären und aus Feuerfluß erstarrten Gesteinen, denen mit vollem Rechte auch der Granit beigesellt ward. Zwischen denjenigen Felsarten, die an der Erdoberfläche, und denjenigen, welche noch im Erdinneren fest wurden, während sie vorher in magmatischem Glutbrei aufgelöst gewesen waren, besteht gleichfalls ein namhafter Unterschied, den man in der Folge durch die Worte vulkanisch (im engeren Sinne) und plutonisch, jedoch nicht vollkommen adäquat, festlegen wollte. Hutton fand zwei begeisterte Adepten in dem Chemiker James Hall (1762—1831) und in dem Physiker John Playfair (1748—1819), zwei Schotten, die ihre beiderseitigen Fachkenntnisse in der Kultivierung einer neuen, vor ihnen kaum in schwachen Gelegenheitsandeutungen bemerkbaren Forschungsmethode vereinigten. Sie schufen das geologische Experiment und ahmten das Walten der Natur in den kleinen Verhältnissen des Laboratoriums nach; die Druck- und Temperaturzustände, welche bei der Gesteinsbildung maßgebend sind, die Entstehung der Druckfaltung, der Zusammenhang der Schieferung mit Druckanomalien wurden erstmalig einer auch die Einzelvorgänge beachtenden Untersuchung unterzogen. Playfairs lichtvolle Erläuterung der Huttonschen Erdbildungslehre sicherte dieser, die der Chemiker Kirwan vergeblich mit ungerechtfertigter Schärfe angegriffen hatte, wenigstens auf den britischen Inseln das Übergewicht, und in der geistigen Atmosphäre, die von Edinburgh ausging, wuchs der junge Geologe heran, welcher, wie oben erwähnt, den entscheidenden Einfluß auf die Wissenschaft in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts auszuüben berufen war.

In dem ausschließlichen Vorwalten der theoretischen Konstruktion lag eine gewisse Gefahr, zumal in einem Zeitalter, welches ohnehin nur allzu geneigt war, Gedankenhäuser und Luftschlösser

auf unzureichender Erfahrungsgrundlage aufzubauen. Dem gegenüber bildete sich aber, und hierin ist Werner gewiß mit gutem Beispiele vorangegangen, auch mehr und mehr eine tüchtige Feldgeologie aus; d. h. man durchforschte mit Hammer, Klinometer und Notizbuch die verschiedenen Länder der Erde und legte in geologischen Landesbeschreibungen ganz objektiv, und ohne vorgefaßten Meinungen einen größeren Raum zu gönnen, den thatsächlichen Befund nieder, dessen Ordnung, Sichtung und Zurückführung auf allgemeine Gesetze wieder eine besondere Aufgabe darstellte. Daß A. v. Humboldt und L. v. Buch auch auf diesem, vorderhand eigentlich wichtigsten Gebiete unverwelkliche Lorbeeren gepflückt haben, ist bekannt genug. Der letztere war auch ein Meister in der Zeichnung geologischer Karten; wer nicht imstande sei, seine Wahrnehmungen auch kartographisch zu fixieren, sei kein richtiger Geognost, betonte er mit Vorliebe. Von 1815 an hatte die geologisch kolorierte, auch den fossilen Einschlüssen der Schichten Rechnung tragende Karte Englands, welche der schon oben genannte Ingenieur W. Smith lieferungsweise herausgab, berechtigtes Aufsehen gemacht, und die sich daran anreihenden Karten und Profilzeichnungen G. B. Greenoughs (1778—1855), J. Mac Cullochs (1773—1835), W. Bucklands (1784—1856) machten Großbritannien zu einem derjenigen Länder, deren stratigraphische, auf den Schichtenbau bezügliche Erforschung am weitesten fortgeschritten war.

In Deutschland wurden durch G. S. O. Lasius (1752—1833) der Harz, durch J. K. W. Voigt (1752—1821) der Thüringer Wald, durch A. Goldfuß (1782—1848) das Fichtelgebirge und das Rheinische Schiefergebirge durchforscht; das schlesische Gebirge blieb auch noch später die Domäne v. Buchs, der hier zuerst zweifeln lernte, ob man mit Werners Terminologie und Begriffsbestimmungen auch in anderen Gegenden auslangen könne. Ebendort, und sogar im heimischen Erzgebirge, ließ sich, als K. v. Raumer (1783—1865) die Granit- und Syenitbildungen prüfte, das Bedenken nicht mehr unterdrücken, ob denn wirklich der Granit, wie es die Freiberger Orthodoxie verlangte, das eigentliche Primordialgestein sei, ob nicht vielmehr dem Gneis (damals „Gneuß“ ge-

schrieben) die Eigenschaft, den Hauptbestandteil der erstarrten Erdrinde zu bilden, zugesprochen werden müsse. Goethe wetterte gegen diese Neuerung in seinen Xenien („Wie man die Könige verletzt, wird der Granit auch abgesetzt, und Gneis, der Sohn, ist nun Papa . . .“), ohne freilich deren Sieg abwenden zu können. Die deutschen Alpen fanden jetzt erst jene Beachtung, auf die sie, wie man sich allgemach überzeugte, den allerberechtigtsten Anspruch machen können. Speziell die bayerischen Alpen hat M. Flurl (1756—1823) mit hingebender Treue erforscht, ohne freilich, ebensowenig wie D. L. G. Karsten (1768—1810), eine Differentiierung der Kalkmassen erreichen zu können, für deren Gesamtheit man sich noch längere Zeit mit dem nichtssagenden Namen Alpenkalk begnügte. Karpaten und Ostalpen, den benachbarten Karst mit einbegriffen, fanden ihren monographischen Schilderer in B. Hacquet (1739—1815), der sich freilich mehr auf gute Landschaftsskizzierung als auf die geologische Analyse verstand; das Salzkammergut und Tirol beschäftigten auch v. Buch, dessen Scharfblick die seither von einer Unzahl tüchtiger Mineralogen und Geologen bestätigte Thatsache feststellte, daß der Kessel von Predazzo zu den interessantesten Orten des Hochgebirges gehört. Kein anderer als er brachte uns, nachdem ein ministerieller Auftrag ihn mit der Durchforschung des Fürstentums Neuchatel betraut hatte, die ersten verlässigen Aufschlüsse über die merkwürdige Faltenstruktur des Schweizerischen Jura, dessen geognostische Übereinstimmung mit den nunmehr gleichnamigen Plateaugebirgen wiederum er, zugleich der beste Kenner der sogenannten Fränkischen Schweiz, darzuthun vermochte. Auch die westlichen Alpen zogen v. Buchs wiederholte Aufmerksamkeit auf sich, doch war er niemals in der Lage, dieselben so eingehend studieren zu können, wie J. G. Ebel (1764 bis 1830), der nicht nur die alpine Reisehandbücher-Litteratur mit ganz ungewohntem Geiste erfüllte, sondern auch in seinem noch heute lesenswerten Hauptwerke („Über den Bau der Erde im Alpengebirge“, Zürich 1808) stratigraphische Bilder entwarf, die sich als mit den exakten Aufnahmen späterer Zeit wohl verträglich erwiesen. Seine teilweise naturphilosophischen Erklärungen überlebten ihn nicht, aber das Gerüste, welches er dem Leibe des riesigen Ketten-

gebirges unterlegte, ist in vielen Hauptpunkten erhalten geblieben. Neben Ebel dürfen wir nicht J. G. F. de Charpentier (1786 bis 1855) als einen glücklichen Westalpenforscher vergessen, dem auch die ersten genaueren Profile durch die Pyrenäen zu danken sind.

In Italien ragte unter den Geologen, die nicht sowohl durch Hypothesen als vielmehr durch rationelle Feststellung der Gebirgsbeschaffenheit ihre Wissenschaft förderten, G. B. Brocchi (1772 bis 1826) hervor, der nicht nur die Struktur der Apenninen klar erkannte, sondern auch eine tiefe Einsicht in die paläontologische Entwicklung bethätigte, über die er sich in einem ganz an Darwin gemahnenden Sinne aussprach. D. G. de Dolomieu, auf den die Unterscheidung des gewöhnlichen Kalkes vom Bitterspate, dem nach ihm so genannten Dolomit, zurückgeht, ragt, da er schon 1801 im Alter von 51 Jahren starb, gerade nur noch ins 19. Jahrhundert hinein, und noch vor dessen Pforte war der in allen Sätteln gerechte Naturforscher L. Spallanzani (1729—1799) aus dem Leben geschieden, aber ein dritter Zeitgenosse, S. Breislak (1748—1826), schuf erst 1801 sein berühmtes Werk über die Vulkangebilde Kampaniens, welches, wenn auch durch unrichtige physikalische Voraussetzungen, zumal durch das beliebte Hereinziehen der Elektrizität in die Lehre vom Vulkanismus, ungünstig beeinflußt, doch dem Überwuchern der extrem-neptunistischen Theorien einen Damm entgegensetzte. Geführt von Breislak, durchwanderte v. Buch die Vulkanregion des Latiner- und Volskergebirges und mußte sich da eingestehen, daß, was er sah, mit den in Freiberg eingesogenen Ansichten gar nicht zusammenpassen wollte. Daß der Führer der italienischen Vulkanisten sich auch seinerseits wieder zu weit vorwagte und sogar die Stadt Rom auf einem ausgebrannten Vulkane erbaut sein ließ, kann nicht befremden in einer Zeit, welche den wissenschaftlichen Radikalismus mehr denn irgend eine andere begünstigte. Breislak hatte auch die Auvergne und das französische Zentralplateau besucht und hier Desmarests (1725—1815) Deutung der Bodenform als einer altvulkanischen bestätigt gefunden. Hier erhielt auch B. Faujas de St. Fond (1722—1819), ein Geologe, dessen Unterhaltung für A. v. Humboldt anläßlich eines gelegentlichen Zusammentreffens in Rastatt bedeutungsvoll ward,

entscheidende Belege gegen die in Deutschland noch kaum ernsthaft angezweifelte wässerige Bildung des Basaltes; hier schuf sich J. F. d'Aubuisson, dessen schöne Arbeiten über die Bewegung des Wassers in Röhren uns bekannt sind, sein Damaskus, denn als sattelfester Anhänger der Freiberger Dogmen hatte er die Besteigung der domitischen Puys begonnen, und als überzeugter Plutonist ging er von dannen; hier brach Graf F. D. R. Montlosier (1755—1838), ein Sohn der klassischen Stadt Clermont en Auvergne, einer ganz neuen Erkenntnis Bahn, indem er darthat, daß man auch bei Feuerbergen, die längst ihre Thätigkeit eingestellt haben, das verschiedene geologische Alter durch untrügliche Kriterien zu ermitteln vermöge. Und hier schlug auch bei v. Buch, der noch auf dem Vesuv und in den phlegraeischen Feldern seine Freiberger Vergangenheit nicht ganz hatte verleugnen wollen, die Wahrheit sieghaft durch, so daß er, als ihn bald darauf sein Weg in Werners Wohnort führte, diesem gegenüber kein Hehl mehr aus seiner Sinnesänderung machte. Es spricht sehr zu gunsten beider bedeutender Männer, daß sich ihre Auseinandersetzung, wiewohl in größter sachlicher Entschiedenheit, doch in den verbindlichsten Formen vollzog und keine Entfremdung zwischen dem Altmeister und seinem größeren Schüler zurückließ. Um auf die Fortschritte der geognostischen Erforschung Frankreichs zurückzukommen, gedenken wir der unermüdlichen, von 1782 bis 1824 sich erstreckenden Arbeiten des Abbé Palassou (gest. 1820) und des F. Pasumot (1737—1804) über die Pyrenäen und deren nördliches Vorland, in denen, wie A. v. Humboldt rühmte, erstmalig ein ausgedehnterer Gebrauch von dem nützlichen Veranschaulichungsmittel der orographisch-stratigraphischen Vertikaldurchschnitte gemacht worden war. Das Pariser Eozängebiet, dessen Schichtenfolge schon in einer gelegentlichen Abschweifung des großen Chemikers Lavoisier in die geologische Nachbarschaft recht genau ermittelt worden war, erwarb sich in Bälde den Ruf einer klassischen Landschaft. A. Brongniart (1770—1847) und Cuvier waren es, die diesen Ruf begründeten, und in der That war ihr Vorgehen für die paläontologische Fixierung der einzelnen Stockwerke von bahnbrechender Bedeutung, obwohl die deutschen Geologen, z. B.

v. Raumer, sich von dem Werte der neuen Methode nicht sofort überzeugen konnten. Es handelte sich hier, das erkannten die Eingeweihten wohl, um verhältnismäßig junge, teils aus salzigem, teils süßem Wasser niedergeschlagene Bildungen, deren Lebewesen von denen der zunächst darunter gelegenen Schichtreihen nicht unerheblich abwichen. Auf dem mit Erfolg betretenen Wege schritt dann J. B. J. Omalius d'Halloy (1783—1875) weiter fort, der auch die erste geologische Beschreibung seines Vaterlandes Belgien lieferte. Während also der größere Teil von Westeuropa — die Niederlande fallen aus einleuchtendem Grunde wenig in Betracht — den Geognosten des zweiten und dritten Jahrzehntes im 19. Jahrhundert ziemlich genau bekannt war, fehlten noch gute Beobachtungen aus der Iberischen Halbinsel fast gänzlich, indem hier nur des Botanikers Cavanilles (1745—1804) Landeskunde seiner Heimatprovinz Valencia einer ehrenden Erwähnung würdig erscheint.

Um so rühriger zeigten sich die Briten. Der hochwichtigen Arbeiten eines W. Smith und Mac Culloch thaten wir bereits Erwähnung. Cornwall und Irland waren das Studiengebiet J. J. Conybeares (1779—1824), und ebendort brachte der aus Genf gebürtige, jedoch unter Werner herangebildete Arzt J. F. Berger (1779—1833) seine in Deutschland erworbenen Kenntnisse zur Geltung. Auch die kleine, aber in jeder Hinsicht bemerkenswerte Insel Man bezog er in seine Untersuchung ein. In Schottland förderte R. Jameson (1774—1854) die Feldaufnahme, verwickelte sich aber als eifriger Neptunist in einen Streit mit Hall und Playfair; Hall fand auch auf hochschottischem Boden zuerst Granit- und Porphyrgänge auf, durch deren Existenz ein unwiderlegliches Moment zu gunsten der magmatischen Entstehung jener Gesteine gewonnen war. Ein neues Ferment, das bis zum heutigen Tage kräftigst nachgewirkt hat, trug in die geognostische Durchforschung des Inselreiches die Diluvialfrage hinein, von deren Entwicklungsstadien weiter unten zu sprechen sein wird.

Skandinavien bildete im 18. Jahrhundert ein Zentrum lebhaftester Diskussion über geologische Dinge, und es griff sogar

gelegentlich die Staatsgewalt ein, wenn durch die gelehrte Polemik Zweifel an der Wahrheit des biblischen Schöpfungsberichtes erregt zu werden schienen. Wie jedoch die Halbinsel stratigraphisch aufgebaut sei, war noch wenig aufgeklärt, und v. Buchs große Reise (1806—1808) war großenteils noch ein wissenschaftlicher Erobe-rungszug in ein unbekanntes Land. Nunmehr wurde außer Frage gestellt, daß die sedimentären Bildungen in Norwegen und Schweden nur eine untergeordnete Rolle spielen, daß auch der wahre Granit, den der große Reisende zuerst bei dem Lappendorfe Kautokeino antraf, im ganzen selten sei, und daß der Gneis den Knochenbau der Halbinsel bedinge. Finlands nahm sich sorgfältiger, obwohl auch Tillas und Abildgaard schon vorher Beiträge geliefert hatten, zuerst M. v. Engelhardt (1779—1842) an, und die weiten Territorien Rußlands, dessen physische Geographie in P. S. Pallas (1741—1811) einen ausgezeichneten Darsteller gefunden hatte, gaben dem Grafen G. Razumowsky (gest. 1837) Gelegenheit, die geognostischen Kenntnisse, welche er sich auf umfassenden Be-gehungen in der Schweiz und in Österreich angeeignet hatte, auf einem größeren Arbeitsfelde zu verwerten. Dem Ural insbesondere kam A. v. Humboldts Reise im Jahre 1829 zu gute, und in dem derselben gewidmeten Werke G. Roses werden auch die geolo-gischen Verhältnisse der Kirgisensteppe, Zentralasiens und Süd-rußlands eingehend erörtert. Der Kaukasus, damals noch ganz in den Händen freiheitsliebender Bergbewohner, entzog sich genauerer Kenntnisnahme noch ebenso wie die gesamte Balkanhalbinsel, für die erst von 1830 an durch die unter großen Schwierigkeiten aus-geführten Reisen Ami Boués (1794—1881) Material beschafft werden konnte. Mit der Geologie von Polen, die nördlichen Karpaten eingeschlossen, bleibt enge verbunden der Name von G. G. Pusch (1790—1846), der sich jedoch nicht einseitig auf Gesteins- und Schichtenkunde beschränkte, sondern sein Adoptiv-vaterland — er war geborener Kursachse und später Hütten- und Münzbeamter in Kongreßpolen — nach allen Richtungen naturwissen-schaftlich zu ergründen bemüht war. Leider ist sein einschlägiges, auch der Klimatologie Beachtung schenkendes Werk in den hinter-lassenen Papieren vergraben geblieben.

Die außereuropäischen Erdteile ließen in der ersten Hälfte des Jahrhunderts Vieles, ja teilweise sogar Alles zu wünschen übrig. Nur aus dem nördlichen Asien lagen ältere Berichte von Pallas und E. Patrin (1742—1815) vor; in Vorderindien hielt die engherzige Politik der Kompagnie, der auch die Londoner Zentralregierung mit gebundenen Händen gegenüberstand, wissenschaftliche Reisende ferne, wie denn A. v. Humboldt sich die Erlaubnis zu seiner bis ins einzelne vorbereiteten Bereisung Hindostans nicht zu verschaffen im stande war. Am frühesten regte sich, nachdem Humboldts Kordillerenreise in Süd- und Mittelamerika das Eis gebrochen hatte, der selbständige wissenschaftliche Geist in Nordamerika, dessen geologische Struktur W. Maclure (1763 bis 1840) von 1809 an in einer längeren Reihe von Abhandlungen als eine merkwürdig einheitliche kennzeichnete. Auf Neuengland und Pennsylvanien konzentrierten sich die beiden Benjamin Silliman, Vater und Sohn (1779—1864; 1816—1885), Herausgeber der ersten gelehrten Zeitschrift der Vereinigten Staaten, des „American Journal of Science and Arts“. Neben den geologischen Studien gingen solche über fossile Wirbeltierreste einher, ohne daß noch der Zusammenhang zwischen beiden Studiengattungen entsprechend gewürdigt worden wäre. Wenn man bedenkt, daß erst 1813 eine Expedition ausgesandt wurde, um über den bis dahin allein besetzt gehaltenen Küstensaum tiefer in das Innere von Australien einzudringen, so wird man sich nicht wundern, daß dort die naturhistorische Forschung erst ziemlich spät einen gedeihlicheren Aufschwung nehmen konnte. Von Afrika wußte man so gut wie gar nichts, abgesehen von den nordwestlichen Archipelen, unter denen derjenige der Kanarien eine Sonderstellung einnahm. Denn L. v. Buchs „Physikalische Beschreibung der Kanarischen Inseln“ (Berlin 1825), die reife Frucht der schon zehn Jahre vorher gesammelten Reiseeindrücke enthaltend, ist ein Meisterwerk, das sogar unter seinen Veröffentlichungen hervorragt.

Wir gaben mit voller Absicht einen Überblick über den Stand topographisch-geologischen Wissens, wie sich derselbe um die Zeit gestaltet hatte, als das „heroische“ Zeitalter in seiner Blüte stand. Über die Leitmotive dieser Periode, deren positive

Aufstellungen zwar zumeist kein sehr langes Leben hatten, deren vielfältige Anregung aber bis zum heutigen Tage nachwirkt, wurde auch bereits so viel gesagt, als sich ohne Eingehen in Einzelheiten einstweilen sagen ließ. Wir gehen jetzt dazu über, die Ausbildung der Geologie aus einem Agglomerate von Systemen zu einer systematischen Wissenschaft in ihren großen Etappen zu verfolgen. Vielleicht bedarf das eben angedeutete Programm noch einer Erläuterung, die leicht zu geben ist. Wir wollten mit unseren Worten die geschichtliche Thatsache umschreiben, daß sich um die Jahrhundertwende und auch noch in späteren Jahren nahezu jeder Forscher sein eigenes erdgeschichtliches System erdacht hatte, in das er alle durch eigene oder fremde Thätigkeit bekannt werdenden Erfahrungen und Wahrnehmungen einordnete, ohne in der Regel viel darauf zu achten, ob bei dieser Registrierung nicht der Wirklichkeit oft ziemlich Zwang angethan werden mußte. Auch L. v. Buch, eine durch und durch kraftvolle Persönlichkeit, war von diesem Trachten nach gewaltsamer Herleitung aller Erscheinungen aus einem obersten Prinzipe nicht völlig frei, aber nichtsdestoweniger schuldet man in erster Linie doch ihm Dank dafür, daß mit jener unverdrossenen, bloß das nächste Ziel im Auge behaltenden Detailarbeit ein ernstlicher Anfang gemacht wurde, ohne welche die geistreichste Verknüpfung unvollkommen erkannter Wahrheiten in der Luft schwebt. Erst wenn die Erfahrung ein breites Fundament gelegt hat, kann ein höheren Erfordernissen genügendes Lehrgebäude aufgerichtet werden, und wie unsere topographische Überschau zeigte, gebrach es an einer solchen Grundlage noch fast überall. Die einzelnen Zweige, in welche die Geologie, eine der akademischen Vertretung noch fast gänzlich entbehrende Disziplin, von selbst zerfiel, als man sie in ihrem wahren Wesen mehr und mehr zu erfassen begann, müssen jetzt selbständig betrachtet werden. Noch am wenigsten geschah in der ersten Hälfte des Jahrhunderts für die tiefere Erkundung der Natur und Zusammensetzung der Gesteine, für die Petrographie, die man durchweg als einen Bestandteil der Mineralogie gelten ließ. Wichtiger wurde die Stratigraphie, die gleichzeitig auch historische Geographie ist und uns über die Zeitfolge sowohl der aus dem Wasser gebildeten Schichten als auch der durch diese

hindurchgebrochenen Ergußsteine orientiert. Wir wissen bereits, daß dieselbe aus eigener Kraft ihr Ziel nicht zu erreichen vermag, diesem vielmehr nur in engster Fühlung mit der Versteinerungskunde oder Paläontologie sich stetig zu nähern hoffen darf. Dies festhaltend, können wir ein eigentümliches Verhalten der betreffenden Wissenszweige konstatieren. Ursprünglich ging die Untersuchung der petrifizierten Tier- und Pflanzenkörper ganz ihren eigenen Weg, ohne sich viel um das Gestein zu kümmern, aus welchem das Fossil herausgenommen worden war. Allein so erzielte man nichts als Raritätensammlungen; die Geologie als solche hatte mit den Merkwürdigkeiten, die aus dem Schoße der Erde gegraben wurden, recht wenig zu thun. Da waren es eben, wie oben bemerkt, v. Buch, W. Smith, Deshayes u. a., welche zeigten, daß bestimmten Perioden der Erdentwicklung ganz bestimmte Schichten und diesen wieder ganz charakteristische Versteinerungen zugehörten, so daß also, wenn man irgendwo diese letzteren aufgefunden hatte, auch ein geologischer Horizont eindeutig fixiert war. Und wenn sich in zwei Antipodenländern der Erde das gleiche Fossil vorfand, so war damit gesagt, daß beide Gegenden gleichzeitig aus dem sie ehedem bedeckenden Wasser hervorgetreten sein mußten. Darin lag offenbar ein ungeheurer Fortschritt für die Schichtenlehre bekundet, aber ebenso ersichtlich war jetzt das Interesse an den Tieren und Pflanzen, die im versteinerten Zustande die Bestimmung der Zeitfolge ermöglichten, sehr gesunken; denselben eignete nur ein mittelbarer Wert, so wie ihn etwa Münzen mit verschiedenen Regentenbildern für die Archäologie besitzen.

So ward ein drittes Stadium vorbereitet, in welches man seitdem eingetreten ist, ohne daß doch das vorgenannte irgendwie an aktueller Bedeutung verlor; die moderne Paläontologie, deren eigentlicher Vater eben auch wieder kein anderer als v. Buch ist, definiert sich als eine selbständige Naturgeschichte der untergegangenen Lebewesen und tritt unter dem genetischen Gesichtspunkte in die nächste Beziehung zur Biologie überhaupt. Damit scheint sie dem Bereiche der anorganischen Naturwissenschaft freilich entrückt und wäre es auch, wenn wir nicht ihrer Herkunft

eingedenk blieben, die eben doch eine gänzliche Loslösung von der Geologie nicht nur unerwünscht, sondern geradezu unthunlich macht. Auf Petrographie, Stratigraphie und Paläontologie stützt sich endlich die — andererseits auch einen Zweig der physikalischen Geographie darstellende — dynamische Geologie, die sich direkt in der Erdmorphologie bethätigt. Letztere stellt und beantwortet, so gut sie dies vermag, die Frage: Unter der Einwirkung welcher Agentien hat im Laufe der Zeiten eine gegebene Erdstelle gerade die Gestalt angenommen, die wir jetzt an ihr wahrnehmen? Spekulationen dieser Art hatten den Geologen des 17. und 18. Jahrhunderts fast ausschließlich in Anspruch genommen, und die Feststellung der thatsächlichen Verhältnisse erschien ihm als etwas Ermüdendes, Überflüssiges, tiefer Forschung Unwürdiges. So war das Pferd gemeiniglich beim Schwanze aufgezäumt worden, und der Freiberger Richtung, der ja auch große praktische Ziele vorgezeichnet waren, bleibt unter allen Umständen das hohe Verdienst, die harte Detailarbeit im Terrain wieder zu verdienten Ehren gebracht zu haben. Als echter Jünger Werners ging v. Buch mit dem besten Beispiele voran, und jeder Studierende der Geologie weiß, daß er dem großen Vorbilde folgen und ebenfalls „als wandernder Einsiedler" die Lande durchstreifen muß, um später sein Erfahrungsmaterial theoretisch mit Aussicht auf Erfolg verarbeiten zu können. Die Personalgeschichte macht uns sogar mit manchem bezeichnenden Falle von Abneigung der berufsmäßigen Feldgeologen gegen die Stubenarbeit am Schreibtische und auf der Kathedra bekannt — ein historisch wohl verständlicher Rückschlag gegen einseitige Bevorzugung des spekulativen Momentes, das jedoch auch niemals vernachlässigt werden darf, wenn nicht an die Stelle des von höheren Erwägungen geleiteten Forschers der Routinier treten soll.

Als Petrograph stand Werner, wenn wir die verschiedenen Abzweigungen seiner vielseitigen Thätigkeit untereinander vergleichen, jedenfalls am höchsten; seine Einteilung der Gesteine in einfache und gemengte, seine Gegenüberstellung der wirklich gesteinbildenden Mineralien und der als akzessorisch oder zufällig bezeichneten Bestandteile haben sich für immer das Bürgerrecht in

der Wissenschaft erworben. Brogniarts Klassifikation von 1813 führte nur weiter, was Werner angebahnt hatte; er trennt, wenn wir seine der Jetztzeit nicht mehr geläufigen Kunstausdrücke mit denen vertauschen, die nachmals gebräuchlich geworden sind, die körnigen Gesteine von denen, die eine porphyrische Struktur aufweisen, und diese wieder von den bloßen Aggregatgesteinen, zu denen die Sandsteine und Breccien gehören. Wiederum zehn Jahre später kennzeichnet K. C. v. Leonhard (1779—1862) in zahlreichen Publikationen, deren gelesenste das durch seinen Namen nochmals auf den Freiberger Ursprung zurückweisende „Handbuch der Oryktognosie" (Heidelberg 1822) gewesen sein möchte, den jetzt erreichten, eine klare Einsicht in das Wesen der Gesteinsbildung darlegenden Standpunkt. Allerdings hatte man noch nicht gelernt, das mächtige Instrument, welches in der Organologie zu den großartigsten Triumphen verholfen hatte, das Mikroskop, auch auf die unbelebte Natur anzuwenden, und da man also nur auf äußerliche Kennzeichen angewiesen war, warf man unwillkürlich verschiedenartige Gesteine zusammen, wie dies die Rubrik „scheinbar gleichartige Gesteine" beweist. Daß man aber trotzdem auch makroskopisch in manchen Fällen tiefere Blicke zu thun vermochte, erhellt aus einer Untersuchung v. Buchs über Laven, denn Bimsstein und Obsidian erscheinen dem oberflächlichen Blicke gewiß als zwei ganz abweichende Erstarrungsprodukte, und doch ließ sich deren grundsätzliche Identität erweisen.

Einen ersten Ansatz zur mikroskopischen Analyse erkennt man bei dem durch seine Wärmemessungen im Inneren der Erde bekannter gewordenen und wegen dieser im sechsten Abschnitte erwähnten Montanisten Cordier, der den Rat gab, pulverisierte Steine einem Schlemmprozesse zu unterwerfen und die Partikeln, welche sich dann nach ihrer verschiedenen Schwere geordnet haben würden, mikroskopisch und chemisch weiter zu prüfen, nachdem zuvor der Magnet alle Eisenteilchen herausgezogen hätte. Es ging das in einzelnen Fällen an, aber allgemein verwendbar konnte das immerhin geistvoll ausgedachte Verfahren nicht werden. Für gewisse Konglomerate wurde dagegen sehr folgenreich der Umstand, daß der ohne Frage bedeutendste Mikroskopiker seiner Zeit,

C. G. Ehrenberg, seine virtuose Technik, der die Entdeckung der Infusionstierchen zu danken war, auch demjenigen Teile der Petrographie zu gute kommen ließ, der es mit den aus Resten organischer Körper bestehenden Felsarten zu thun hat. Die weiße Schreibkreide, der Polierschiefer, die als Kieselguhr später von der Sprengstoffindustrie ausgenützte Masse zerfielen unter dem Vergrößerungsglase in ein Haufwerk zahlloser winziger Organismen, die teils dem Formenbereiche der niedersten Tiere, den Protisten, teils pflanzlichen Einzellern, den Kalk- und Kieselalgen, angehörten. Auch für die Erforschung der Ablagerungen, welche den Grund des Meeres bedecken und, da sie heute noch nach ähnlichen Normen sich bilden, wie in geologischer Vorzeit die Felsschichten, auch des unmittelbaren geologischen Interesses nicht entbehren, erwies sich Ehrenbergs Forschungsart zweckdienlich. Aber die Behauptung, jedwede Art von Kalkstein sei organogen, ging wieder viel zu weit und verhinderte vielleicht, daß man in größerem Umfange auch die kompakten Gesteine, sedimentäre wie plutonische, mit dem Mikroskope auf ihre Zusammensetzung untersuchte. Es geschah dies auch dann zunächst noch nicht, als die Konstruktion des Polarisationsmikroskopes durch den im achten Abschnitte genannten Schotten Nicol die Methodik ungemein verbessert und u. a. K. J. A. Th. Scheerer (1813—1875) in die Lage versetzt hatte, um 1845 die oft bunte Vielheit fremdartiger Einschlüsse in Krystallsplitterchen augenfällig zu machen. K. F. Naumann (1797—1873), als Verfasser trefflicher Kompendien der Mineralogie und Geologie unter den Deutschen obenanstehend, hat die Petrographie im Jahre 1850 mustergiltig abgehandelt und nach genetischen Gesichtspunkten in ein System gebracht. Sein Lehrbuch und das B. v. Cottas (1808—1879), das fünf Jahre später herauskam, schildern diesen Wissenszweig so vollständig und deutlich, als dies unter den damaligen Umständen überhaupt erreicht werden konnte. Man hatte inzwischen auch die Chemie in den Dienst der Gesteinslehre gestellt, und Cordier, W. H. Abich (1806—1886), P. A. Dufrénoy (1792—1857) und A. Delesse (1817—1881) hatten dadurch schöne Ergebnisse für die Beschaffenheit der Ergußsteine erhalten. Als eigentlichen Schöpfer der

chemischen Geologie kann man mit v. Zittel den Bonner Universitätslehrer G. Bischof bezeichnen, der uns, zugleich mit Cordier, als einer der Begründer der Lehre von den geothermischen Verhältnissen entgegen getreten ist. Überall da, wo nicht schroff-neptunistische Voreingenommenheit den scharfen Denker auf Abwege leitete, hat er die reichste Anregung gegeben, und sein „Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie" (Bonn 1844—1855) hat nicht ohne Grund zu seiner Zeit den Ruf der Klassizität erlangt, muß aber selbst in der Gegenwart noch gar oft zu Rate gezogen werden, weil es in manchen Angelegenheiten, wir erinnern nur etwa an die mustergiltig skizzierte Lehre von den Mineralsprudeln in altvulkanischen Regionen, Originalmitteilungen bringt, die nachher von einem Werke in das andere übergingen. Man kann ja wohl einwerfen, Bischof suche der rein chemischen Betrachtungsweise ein allzu großes Feld zu erringen und greife in Gebiete über, die sich dieser entziehen; daß aber insonderheit die Zerlegung der verschiedenen Gesteinsarten nichts zu wünschen übrig läßt, ist gewiß, und nur bezüglich der vulkanischen Laven und Gläser mochte noch eine Ergänzung wünschenswert erscheinen. Sie ward geliefert durch den genialen Bunsen, der auf seiner Island-Reise (1845) das vulkanische Phänomen nach allen Seiten hin studiert hatte und die Zerlegung aller aus Glutfluß abgeschiedenen Gesteine in zwei große Gruppen durchführte.

Allein soviel die Chemie leistete — darüber, in welcher Art und Weise sich die einzelnen Bestandteile eines zusammengesetzten Gesteines ineinander gefügt haben, gewährte sie einen Aufschluß nicht. Solchen giebt vielmehr ausschließend der Dünnschliff, eine überaus dünne, aus dem zu prüfenden Objekte herausgeschnittene und planparallel angeschliffene Platte, welche in durchgehendem Lichte die thatsächliche Anordnung der gesteinbildenden Mineralien offenbart. Sonderbarerweise hatte man versteinerte Hölzer und Kohlen schon mehrfach im Sinne der Dünnschliffmethode betrachtet, ohne auf deren Allgemeingiltigkeit aufmerksam zu werden, und es blieb H. C. Sorby (geb. 1826) vorbehalten, die Herstellung solcher Untersuchungsobjekte als das souveräne Hilfsmittel der Mineralmikroskopie zur Anerkennung zu bringen.

Dies geschah im Jahre 1850, und von da ab erhielt sich das Verfahren, wenngleich es zuerst nur langsam Beifall fand, auf der wissenschaftlichen Tagesordnung, um schließlich dem eisernen Bestande der Petrographie einverleibt zu werden. Die späteren Geschicke von Sorbys Erfindung reichen jedoch zeitlich über die Grenze des Jahres 1853 hinaus und müssen deshalb vorderhand unberücksichtigt bleiben.

Daß die Disziplin, deren Entfaltung uns bisher beschäftigte, auch auf die alten Streitigkeiten zwischen Neptunisten und Plutonisten ihren Einfluß übte, versteht sich von selbst. Die wässerige Entstehung des Basaltes, die v. Buch selbst dann noch als regionale Möglichkeit zulassen wollte, als er in der Auvergne die erstarrten, aus den Kratern der Tertiärvulkane gekommenen Basaltströme mit eigenen Augen gesehen hatte, widerlegte einige Jahre später niemand so entschieden als er selbst, und seinem Beispiele folgten v. Leonhard und der treffliche Elie de Beaumont. Wie v. Gümbel bemerkt, hat auf dem Veitsberge bei Karlsbad die Natur selbst den wahren Sachverhalt den Augen demonstriert; denn dort erkennt auch der Laie, wie der Basalt den so viel älteren Granit durchbrochen und sich, ursprünglich glutflüssig, in des ersteren Spalten und Klüfte hineingezwängt hat. Weniger leicht gelang der Nachweis des plutonischen Charakters beim Granit; zumal J. N. Fuchs in München, der die Chemie mit der Geologie schon vor Bischof möglichst enge zu verbinden suchte, stieß sich an dem Umstande, daß die im Hochofen erzeugten Schmelzflüsse niemals eine solche mechanische Verbindung von Feldspat, Quarz und Glimmer ergeben hätten, wie sie uns der Granit vor das Auge stellt. Durch E. v. Schafhäutl (1803—1890) und Scheerer wurde eine Kompromißhypothese in Umlauf gesetzt, welche die Herkunft des Granits aus einem feurig-flüssigen Magma allerdings nicht gänzlich leugnete, diesem Mineralbrei aber eine kräftige Durchtränkung mit Wasser zuschrieb. Hierdurch war der Forschung, wie sich auch der Einzelne zu der hydato-pyrogenen Theorie stellen wollte, ein weiter Spielraum eröffnet, und sie hat ihn auch redlich ausgenützt, wie dies aus der späteren Fortsetzung des gegenwärtigen Abschnittes hervorgehen wird. Für die archaisch-paläozoische Gruppe

der Ergußgesteine schwebte also um die Mitte des Jahrhunderts der Streit noch, und als in allen Einzelheiten entschieden wird ihn sogar unsere Zeit noch nicht ansehen dürfen; die dem geologischen Mittelalter und noch mehr die der geologischen Neuzeit angehörigen Gesteine dieser Art — gewöhnlicher Porphyr, Quarzporphyr, Melaphyr, Rhyolith, Basalt, Trachyt und Klingstein — hatten um 1850 in aller Augen die Stellung sich erworben, welche ihnen v. Buch und dessen Anhänger von Anfang an zugeteilt hatten. Bischof war der letzte gewichtige Gegner der plutonischen Lehre und sprach sich, im Einverständnis mit dem Norweger B. M. Keilhau (1797—1858), dahin aus, daß ein durch Druck bedingter Metamorphismus das von Wasser durchtränkte Gestein derart verändert habe, wie es der Augenschein feststellt. Diese Art der Entstehung sollte vom Diabas nicht minder wie vom Porphyr und Melaphyr — dem „Augitporphyr“ v. Buchs — gelten. Heute wissen wir, daß unter den Faktoren, die bei der Gesteinsumbildung mitwirken, das Wasser allerdings an erster Stelle steht, und wenn auch die rein magmatische Bildung des Granits als gesichert betrachtet werden darf, so kommt den erwähnten Arbeiten doch zweifellos das Verdienst zu, neue und folgenreiche Gedanken in die Diskussion geworfen zu haben.

Wir verlassen hiermit die Petrographie, welche im Begriffe steht, sich zur Petrogenie zu erweitern, aus einem wesentlich beschreibenden in einen die kausalen Fragen voranstellenden Wissenszweig überzugehen, und wenden uns der historischen Geologie zu, welche für jeden Erdort Art und zeitliche Rangordnung des Schichtenbaues auszumitteln beabsichtigt. Sie zog und zieht den größten Vorteil aus der geologischen Kartographie. Deutschlands erste geognostische Übersichtskarte, von den Zeitgenossen, deren Stimme wir u. a. bei Goethe vernehmen, mit enthusiastischem Jubel begrüßt, arbeitete Ch. K. Keferstein (1784—1866) im Jahre 1826 aus, doch steht dieselbe sowohl technisch wie auch hinsichtlich der Konzeption noch sehr zurück hinter einem zwanzig Jahre jüngeren Unternehmen der Berliner Verlagsfirma S. Schropp; letztere Spezialkarte, aus 42 Einzelblättern bestehend, trägt keinen Autornamen an der Spitze, aber es war bekannt, daß v. Buch

der eigentliche Herausgeber war. Für Mitteldeutschland waren Naumann, v. Cotta, der Mineraloge Hausmann und vor allem F. Hoffmann (1797—1836) thätig, dessen eigentliches Arbeitsgebiet allerdings wenig später Italien wurde. Die Kreide- und Jurabildungen Nordwestdeutschlands bildeten die Domäne von W. Dunker (1809—1885), F. A. Roemer (1809—1869) und A. Hosius (1825—1896); für Schlesien, wo v. Buch und v. Raumer den guten Grund gelegt hatten, besorgte die weitere Kartierung R. v. Carnall (1804—1874), ein hervorragender Kenner des Bergbaues und zumal der Salzwerke, dessen Namen das aus Salz und Magnesia gebildete Mineral Carnallit verewigt. Später, in den vierziger Jahren, legte hier der junge H. E. Beyrich (1815—1896) Proben von der hohen Befähigung ab, die ihn nachmals zum anerkannten Meister der Stratigraphie in Deutschland erhob. Auch fanden sich endlich Männer, die sich des vernachlässigten norddeutschen Flachlandes annahmen und, wie dies v. Buch bereits für Alpen und Schweizer Jura gethan hatte, die längs der baltischen Seenplatte das anstehende Gestein ersetzende Geschiebeformation zu erforschen begannen; K. F. Kloeden (1786—1856) leistete dies in der Mark, E. Boll (1817—1868) in dem von ihm nach allen Seiten naturwissenschaftlich erschlossenen Mecklenburg, H. Girard (1814—1878) für die Diluvialebene zwischen Elbe und Weichsel in südlicherer Breite. Eine klare Übersicht über die hauptsächlich im gleichen Sinne interessanten Verhältnisse Schleswig-Holsteins begann seit 1841 L. Meyn (1820—1878) zu liefern. Die planmäßige Durchforschung der preußischen Rheinlande durch v. Dechen nimmt zwar in den vierziger Jahren ihren Anfang, reicht aber doch zu sehr in die Folgezeit hinein, um schon hier meritorischer Besprechung teilhaftig zu werden. Auch der Süden unseres Vaterlandes blieb nicht zurück. Der weitaussehende Plan A. v. Klipsteins (geb. 1801), seine zahlreichen Einzelstudien über hessische Geologie in zwölf groß angelegten Monographieen zusammenzufassen, kam zwar nicht zur Verwirklichung, aber in Baden wurde seit 1830 rührig gearbeitet, wie eine von Leonhard bearbeitete Skizze vom Jahre 1846 ersehen läßt. Die Stratigraphie Württembergs hat sich als für die Gewinnung höherer Einsichten in

den Aufbau der sogenannten Sekundärformation ausschlaggebend erwiesen, und wenn mithin auch F. A. v. Alberti (1795—1878) und F. A. Quenstedt in erster Linie schwäbische Lokalforscher waren und sein wollten, so haben ihre gelungenen Gliederungen des Mesozoikums doch auch der Wissenschaft selbst den allergrößten Vorschub geleistet. Weniger gut organisiert war vor 1850 die geognostische Aufnahmearbeit in Bayern; eine solche wurde erst 1849 durch Schafhäutl in Anregung gebracht, und obwohl der Staat für diesen Zweck anfänglich nur recht bescheidene Mittel zur Verfügung stellte, so fand sich doch bald der Mann, der auch mit solchen seine große Aufgabe zu lösen befähigt war. Anno 1850 trat der junge Bergmann W. Gümbel (1823—1898) in die von Schafhäutl gegründete Kommission ein, und ihr kam zu gute die rastlose Thätigkeit dieses vielleicht universellsten unter den neueren Geologen, der nicht bloß in seiner phänomenalen und bis in hohes Alter unerschütterlichen Körperspannkraft an v. Buch erinnerte, sondern ihm auch sonst glich. Von 1854 an war er Direktor des damals mit der Leitung des Oberbergamtes verbundenen und noch jetzt von diesem abhängigen „Geognostischen Bureaus"; was er in diesem Amte geleistet, gehört einer späteren Periode an. Österreich-Ungarn blieb in den ersten Jahrzehnten ziemlich teilnahmlos, obwohl es an Sinn für die auch wirtschaftlich gewiß nicht gleichgiltige Sache nicht ganz fehlte; hielt doch der gefürchtete und gehaßte Staatskanzler Fürst v. Metternich vor den Mitgliedern der in Wien tagenden Naturforscher-Versammlung (1832) einen einschlägigen Vortrag, welcher ganz rationell der Einführung einer allseitig anerkannten Kolorierung geologischer Karten das Wort redete. Doch dauerte es noch reichlich zehn Jahre, bis ein kräftigeres Leben sich entfaltete. Dann allerdings nahm P. M. Partsch (1791—1856), sonst als Meteoritenkenner besonders geschätzt, die Kartierung Ober- und Niederösterreichs thatkräftig in Angriff, und durch E. A. v. Reuß (1811—1873), F. X. Zippe (1791—1863) und in noch höherem Maße durch J. Barrande (1799—1883) wurde ein hohes Ziel erreicht, daß sich nämlich Böhmen den geologisch am besten bekannten Ländern zurechnen durfte. Eine noch wichtigere Mission war dem großen Mineralogen v. Haidinger beschieden,

der zwar seiner engeren Fachstudien halber persönlich der Feldarbeit weniger obliegen konnte, der aber als erster Vorstand der 1849 gestifteten Geologischen Reichsanstalt, eines Musterinstitutes, dieser die vorzügliche Organisation gegeben hat, der sie es dankte, daß sie nunmehr ein halbes Säkulum mit stets steigendem Erfolge zu wirken vermochte. Erst in neuester Zeit hat man erfahren, wie mancher Stein der jungen Anstalt im Wege gelegen hat, welche sich der einflußreiche Handelsminister v. Baumgartner, ein geschätzter Physiker und Volkswirt, aber mit der Eigenart geologischer Forschung wenig vertraut, nur als ein Anhängsel der Akademie der Wissenschaften denken konnte, während doch gerade Selbständigkeit das Lebenselement einer jeden derartigen Zentralstelle ist. Zum Glücke siegte v. Haidinger über alle seinem Werke entgegenstehenden Schwierigkeiten, trefflich unterstützt von seinem jugendlichen Mitarbeiter F. v. Hauer (1822—1899), von dem in einem Briefe v. Buchs, wie Tietzes Lebensbeschreibung des Altmeisters der österreichischen Geologie mitteilt, gesagt wird: „Ich habe das größte Vertrauen zu Hauer, der gründlich untersucht und vergleicht und nicht Alles isoliert betrachtet.“ Wahrlich ein wertvolles Vertrauensvotum von so kompetenter Seite und glänzend gerechtfertigt durch die nächstfolgenden fünzig Jahre des Mannes, der unter solchen Auspizien in das wissenschaftliche Leben eintrat! Zu Österreich gehörte damals noch der größere Teil von Oberitalien, wo seit 1850 etwa A. Stoppanis (1824—1891) Wirksamkeit datiert. Die geognostischen Arbeiten im übrigen Italien, unter denen diejenigen L. Pillas (1805 bis 1843) und G. Meneghinis (1811—1889) einen geachteten Platz einnehmen, während doch eigentlich auswärtige Gelehrte die meisten Früchte pflückten, litten unter der politischen Zersplitterung des Landes, und erst seit das geeinte Königreich besteht, konnten die Italiener jenes hohe Talent für Naturbeobachtung, welches sie stets bethätigten, zur richtigen Geltung bringen.

Spanien und Portugal sahen sich in noch höherem Grade auf die Unterstützung Fremder angewiesen, wenngleich ersteres seit 1849 sich einer geologischen Kommission rühmen durfte. Die Türkei blieb, von den durch A. Boué bereisten Westprovinzen

abgesehen, die alte terra incognita, und nur Griechenland dankte den französischen Befreiern auch eine erste geologische Ambulierung, deren Resultate 1833 das Morea-Werk von E. Le Pouillon de Boblaye (1792—1843) und P. Th. Virlet d'Aoust (geb. 1800) vor die Öffentlichkeit brachte. Wenn man von den ungeheuren Fortschritten Akt nimmt, welche seit 1830 die naturhistorische Erforschung des europäischen Rußlands sowohl als auch seiner asiatischen Annexe machte, so begegnet man fast ausschließlich deutschen — vorab baltischen — Namen: G. Fischer v. Waldheim (1771 bis 1853), E. Eichwald (1795—1876), G. A. Erman (1806 bis 1876), G. v. Helmersen (1803—1885) und vor allem dem oben genannten Abich, auf dessen unermüdlich wiederholte Bereisung schwer zugänglicher Regionen das meiste von dem zurückgeht, was wir in geologischer Beziehung vom Kaukasus und von Hocharmenien wissen. Skandinavien verehrt in Esmark und Keilhau, mit denen beiden wir schon Bekanntschaft geschlossen haben, sowie in S. Nilsson (1787—1883), S. Lovén (1809—1895) und N. G. v. Nordenskiöld (1792—1866), dem tüchtigen Vater eines noch berühmteren Sohnes, die Begründer einer geologischen Landeskunde. Dänemark wirft so wenig wie Holland ein bedeutendes Gewicht in die Wagschale, aber dafür hat es die geologisch überaus merkwürdigen Außenbesitzungen Grönland und Island. Letzteres war um 1840, so unsäglich viel auch seit mehr als dreihundert Jahren über die Insel geschrieben und gefabelt worden war, doch eigentlich noch recht wenig bekannt; nur Olassen und Povelsen hatten um 1770 die isländische Gletscher- und Vulkanwelt mit dem Auge des Geologen betrachtet, aber ihr Bericht konnte der Neuzeit nicht mehr genügen. Da traten um die Mitte der vierziger Jahre Bunsen und W. Sartorius von Waltershausen (1809—1876) auf den Plan, welch letzterer die erste zusammenhängende Skizze über die Physis Islands veröffentlichte. Aus Grönland waren auffallenderweise schon weit früher verlässige Nachrichten gekommen. K. Giesecke (1761—1833), recte Metzler, folgeweise Schauspieler, Dichter und Mineralienhändler, hatte mehrere Jahre in letzterer Eigenschaft die dänische Kolonie bewohnt und hier unter anderem die ergiebigen Lager von Kryolith aufgedeckt, die man späterhin

der Aluminiumgewinnung halber ausbeuten lernte. Seit 1813 Professor in Dublin, hat er die mineralogisch-geologische Struktur der Westküste zuerst beschrieben.

Sehr groß war der Gewinn, den Frankreich aus dem seit 1825 in Gang gekommenen Unternehmen einer selbständigen geologischen Mappierung zog, welches in die Hände A. J. M. Brochant de Villiers' (1772—1840), Elie de Beaumonts und Dufrénoys gelegt war. Mit dem Jahre 1840 war es abgeschlossen, und nebenher gingen noch zahlreiche anderweite Arbeiten über einzelne Landesteile, unter denen diejenigen von P. L. Voltz (1784—1840) einen ehrenvollen Platz einnehmen. Auch die Schweiz ließ es nicht an sich fehlen. Hans Konrad und Arnold Escher von der Linth (1767—1823; 1807—1872) waren zwei Feldgeologen allerersten Ranges, und zwei Zeitgenossen des letzteren, B. Studer (1794 bis 1887) und P. Merian (1795—1883), wetteiferten mit ihm in der Erschließung der intimsten Geheimnisse des westalpinen Gebirgsbaus. A. Favre (1815—1890) dehnte seine Thätigkeit, aus welcher in erster Linie die Umgebung des heimischen Genfer-Sees Nutzen zog, auch auf die benachbarten französischen Gebirgsteile aus und ist nächst H. B. de Saussure als der Begründer der Montblanc-Geologie zu betrachten.

Die staatliche stratigraphische Landesaufnahme Belgiens leitete von 1836 an A. H. Dumont (1809—1857). Ihm gelang zuerst die Entzifferung der schwierigen Schriftzüge, in denen die Natur die Geschichte des wallonischen Steinkohlengebirges geschrieben hat.

Daß Großbritannien, das Vaterland W. Smiths, nicht hinter dem Kontinente zurückblieb, sondern ihn an Regsamkeit womöglich noch übertraf, kann nicht wunder nehmen. J. Phillips (1800 bis 1874), A. Sedgwick (1785—1873) und R. J. Murchison (1782—1871) haben musterhafte Regionalbeschreibungen geliefert; das beliebteste Arbeitsgebiet waren die westlichen Grafschaften nebst dem angrenzenden Wallis, wie dies die nach lokalem Schichtvorkommen gewählten Bezeichnungen der älteren paläozoischen Formationen — Kambrium, Silur, Devon — erkennen lassen. Die von der Staatsregierung eingesetzte Geological Survey erhielt 1835 einen ausgezeichneten Dirigenten in H. Th. de la Beche

(1796—1855), der mit seiner Anstalt auch die höhere Bergschule und ein geologisches Museum verband. Die große geologische Karte des vereinigten Königreiches im Maßstabe 1:63000 ist mit Ausnahme einiger entlegener Winkel Hochschottlands fertig gestellt, und zahllose Spezialkarten erleichtern das Studium der auch hinsichtlich anomaler Schichtenlagerung vorbildlichen stratigraphischen Verhältnisse.

Das Beispiel Englands ahmte die stammverwandte Union nach, indem nahe gleichzeitig ein den gleichen Namen führendes Institut für das freilich unermeßlich ausgedehntere Gebiet der Vereinigten Staaten ins Leben gerufen wurde. Die Staaten östlich von den Alleghanies waren bald in ihren Grundzügen erkannt, großenteils durch den Eifer der Gebrüder H. D. und R. Rogers (1809—1866; geb. 1814) und des Staatsgeologen von New York W. Mather (1804—1859), der später auch Kentucky und Ohio unter seine Flügel nahm. Über den Mississippi hinaus ging diese Kartierungsarbeit einstweilen nur ausnahmsweise; mit den in Nebraska aufgefundenen Kreideablagerungen beschäftigte sich v. Buch in den letzten Tagen, die er noch auf dieser Erde zu weilen hatte. J. Marcou (geb. 1824), der bald darauf auch die Rocky Mountains in seinen Arbeitskreis einbezog, zeichnete im Todesjahre v. Buchs die erste geognostische Übersichtskarte der Union. Auch Kanada wurde 1841 mit einer naturwissenschaftlichen Zentralanstalt ausgerüstet, als deren Chef W. E. Logan (1798—1875) klassische Beiträge zur Altersklassifikation der azoischen Formation lieferte. Von sozusagen bodenständiger Forscherarbeit in Mittel- und Südamerika ist auch in dieser Zeit noch nicht viel zu berichten; was überhaupt geschieht, muß Ausländern zum Verdienste angerechnet werden. Von 1826 an hielt sich A. D. d'Orbigny (1802—1757) als Sendling des Pariser Naturhistorischen Museums in den südlichen und mittleren Teilen Südamerikas auf und brachte von da reiche Sammlungen nach Hause, die eine erste, natürlich noch oberflächliche Kartierung ermöglichten. Die Weltreise Ch. Darwins (1809—1882), die der damals kaum den Hörsälen von Cambridge entwachsene junge Mann auf dem von Kapitän Fitzroy befehligten Schiffe „Beagle" (1831—1836) mitmachte, gab dem mit

wenig Buchgelehrsamkeit ausgestatteten, aber zum scharfen Beobachter geborenen Zoologen Gelegenheit, in Patagonien, auf den Falklands-Inseln und auf Feuerland, an der chilenischen Küste und auf den Galapagos weittragende geologische Studien anzustellen. Das gleiche Talent bewährte er auch den von seinem Schiffe berührten Koralleninseln des Großen und Indischen Ozeans gegenüber; genereller klärte die stets einseitigen, teils auf vulkanische, teils auf madreporische Aktion hinweisenden Verhältnisse der Südseeinseln 1849 der junge J. D. Dana auf. Vom Festlande Neuhollands gab erst 1850 J. Beete Jukes (1811—1869) genauere geognostische Kunde. Hindostan blieb bis in die Mitte der vierziger Jahre so gut wie verschleiert; dann aber richtete die Ostindische Kompagnie eine Survey ein, und Th. Oldham (1816 bis 1872) brachte die Forschung rasch in Gang. Hinterindiens Inselwelt trägt die Signatur eines hauptsächlich vulkanischen Landes, und der Vulkanismus war es auch, dessen Ergründung sich der von der niederländischen Kolonialregierung angestellte deutsche Arzt F. W. Junghuhn (1812—1864) besonders angelegen sein ließ. Afrika verbleibt auch im laufenden Zeitabschnitte geologisch ein ebenso dunkler Erdteil, wie es dies geographisch von alters her war und teilweise noch immer ist. Die weitaus gediegenste geologische Leistung kommt auf Rechnung des von Mehemed Ali zur Untersuchung der nubischen Bergwerke berufenen Österreichers J. Russegger (1812—1863), der acht Jahre am oberen Nil verweilte und von Ägypten und dessen südlichen Nachbarländern die erste geognostische Karte herstellte.

Auf solchem Materiale, mochte es immerhin recht ungleichförmig über die Erdoberfläche verteilt sein, konnte eine Formationslehre aufgebaut werden. Wir wissen, daß, nachdem eine rein petrographische Bestimmung des Schichtenalters, wie sie v. Buch und v. Humboldt in ihren jungen Jahren angestrebt, totalen Schiffbruch erlitten hatte, die Notwendigkeit, Leitfossilien für eine bestimmte Schicht auszumitteln, von allen berufenen Fachmännern gleichmäßig empfunden ward. H. M. D. de Blainville (1778 bis 1850), seines Zeichens Zoologe und demnach nur mittelbar bei den in Rede stehenden Versuchen geologischer Altersbestimmung

beteiligt, legte der Versteinerungskunde, die im 18. Jahrhundert doch zunächst den Charakter einer gelehrten Spielerei mit Kuriositäten besessen hatte, die bezeichnende Benennung Paläontologie bei, und diese Disziplin wurde die unentbehrliche Handlangerin der historischen Geologie. H. G. Bronn (1800—1862) gab die erste, auf unermeßlichem Thatsachenwissen beruhende Systematik der neu gestalteten Disziplin, für die er sich auch, gleichwie Schafhäutl, des Namens Lethaca — Lehre von den der Vergessenheit anheimgefallenen Lebewesen — bediente. Ihm, d'Orbigny und Quenstedt ist man zu Danke verpflichtet, wenn man die Entwicklung der Stratigraphie verfolgt und oft mit Staunen wahrnimmt, mit welcher Sicherheit auf Grund der organischen Einschlüsse das relative Alter einer Schicht angegeben werden kann.

Die Vertikalgliederung der Formationen, welche Werner aufgestellt, Freiesleben verbessert und verfeinert hatte, konnte nicht dauernd bestehen bleiben. Für England führten 1822 Conybeare und Phillips eine Einteilung durch, die namentlich für die Abgrenzung des sogenannten Ooliths, den v. Buch passender Jura nannte, von Wichtigkeit wurde. Den Lias, der ihnen zufolge in normaler Lage die Oolithformation unterteufen sollte, wies v. Buch auch am bayerischen Tegern-See nach — ein gewaltiger Fortschritt in der Erkenntnis des Zusammenhanges weit auseinanderliegender Schichtreihen. Von den beiden Briten ließ sich nicht ohne Grund Keferstein bei der Aufstellung der seine Karten begleitenden Übersichtstabellen beeinflussen; Vieles ist noch recht unvollkommen, aber es liegt doch schon gleich unter dem Tertiär die Kreide, und die Parallelisierung der vulkanischen Bildungen mit den sedimentären ist ebenfalls nicht übel, indem wenigstens Basalt für jünger als Porphyr und dieser für jünger als Granit erklärt wird. Natürlich bezog sich dies wesentlich nur auf Deutschland, und wirklich war, wie eben gerade die glückliche Durchführung eines solchen Vergleiches durch v. Buch als Ausnahme beweist, die Zeit für eine genaue Identifizierung der Schichten distanter Gebiete noch nicht gekommen. Ein 1816 unternommener Versuch v. Raumers, die Analogien zwischen England, Frankreich und Deutschland herzustellen, bewegte sich auf Irrwegen, und auch

1822 scheiterte A. Boué wesentlich an der gleichen Schwierigkeit, indem der britische Old Red Sandstone nicht als eine der ältesten, Versteinerungen führenden Bildungen erkannt wurde. Die sehr detaillierte, aber auch nach unseren Begriffen sehr sonderbare Nomenklatur, welche Brongniart behufs genauerer Unterscheidung der einzelnen Abhandlungen einzuführen gedachte, konnte sich keinen Eingang verschaffen, auch nicht mit den Abänderungen, die Omalius d'Halloy daran anbrachte. Noch immer warf man, als so gut wie gleichzeitig entstanden, Schichtfolgen zusammen, die ja gewiß Unterabteilungen einer höheren Einheit waren, gleichwohl aber unter sich recht namhafte chronologische Unterschiede aufwiesen. Durchschlagend in methodischer Hinsicht, durch die sorgsame Auswahl der geeigneten Leitversteinerungen, wirkte, wie dies v. Buch erwähntermaßen lobend anerkannt hat, Deshayes' 1830 erschienene Gliederung des Tertiärs, welche durch Aufnahme in Lyells viel gelesenes Lehrbuch in Bälde zum Gemeingute der Forscher und Studierenden wurde. Die Konchylien, deren rezente Gattungen er fachmännisch erforscht hatte, dienten ihm, der sich vom Arzte zum Zoologen und vom Zoologen zum Paläontologen durchgearbeitet hatte, als ein Hilfsmittel von bisher nicht begriffener Verwendbarkeit. Die gleiche Methode wird auch in Bronns Hauptwerke (Stuttgart 1835—1838) generell zur Durchführung gebracht, so daß, von den unteren Stockwerken der paläozoischen Ära abgesehen, um 1840 der Stammbaum der Schichten in den großen Zügen derart ausgebreitet dastand, wie wir ihn noch jetzt vor uns sehen.

Die vorerwähnte Lücke haben vorzugsweise Engländer und Schotten ausgefüllt. Sedgwick und Murchison entschieden sich 1836 dahin, von der mächtigen Grauwackenschicht, welche der letztere als Silur bezeichnet hatte, eine untere Formation, die allerälteste, in der sich noch petrifizierte Organismen finden, als Kambrium abzutrennen und auch dieses wieder nach Stufen zu gliedern, obschon eine scharfe Grenze zwischen kambrischem und silurischem Systeme einstweilen noch nicht gezogen werden konnte. Es stand nicht lange an, da bemerkte v. Buch in einem Schreiben an Elie de Beaumont, in der Nähe der nordbayerischen Stadt Hof sei

eine Kambriumstufe — man nennt sie jetzt nach wallisischem Vorbilde Tremadoc — schön entwickelt; eine über den Kanal hinüberreichende Verbindung zwischen gleichartigen Sedimentärgebilden war somit hergestellt. De la Beche gab mit W. Lonsdale (1794 bis 1871) den Anstoß, auch eine über dem Silur liegende Formation, die den „alten roten Sandstein" in sich schloß, als selbständig abzutrennen, das Devon. Große Reisen der britischen Forscher, vorab Murchisons, setzten außer Zweifel, daß in weit entfernten Erdräumen, so im Ural, die gleiche zeitliche Aufeinanderfolge der als kambrisch, silurisch, devonisch bezeichneten Schichtenreihen zu Recht besteht, und auch in Amerika, wo sich E. P. de Verneuil (1805—1873) um die Ermittlung der Formationsgrenzen bemühte, wurde seit 1845 eine derjenigen völlig entsprechende Einteilung des „tierischen Altertums" oder Paläozoikums ermöglicht. Daß aber auch im Herzen Europas eine Silurentwicklung von außerordentlicher Mächtigkeit und Vielseitigkeit der tierischen Einschlüsse bestehe, wurde erst seit 1846 bekannt. Es war Barrandes Lebenswerk, das böhmische Silur nach allen Richtungen hin zu durchforschen, wobei sich ihm als Leitfossilien wertvollster Art die zu den Krebstieren gehörigen, an einer eigentümlichen Dreiteilung des Körpers erkennbaren Trilobiten darboten. Das Devon übertrugen Beyrich und vor allem Roemer nach Deutschland, wo es am Rhein, in Westfalen und im Harzgebirge mächtig ansteht. Auch im Vogtland erkannte man silurische und devonische Bildungen am Vorkommen der noch immer einigermaßen rätselhaften Graptolithen. Die Detaillierung der belgischen ältesten Schichten durch Dumont war zwar eine sehr feine gewesen, allein leider hatte der von einem gewissen stratigraphischen Lokalpatriotismus beseelte Forscher es unterlassen, die Vorkommnisse seines Vaterlandes zu denen anderer Länder in Beziehung zu setzen. Verhältnismäßig glatt vollzog sich Abtrennung und Hauptgliederung bei der Kohlenformation, deren Teilung in zwei große Stockwerke sich früh herausstellte. Mit v. Dechen wird das untere als Kohlenkalk, das obere als produktive Steinkohlenformation zu bezeichnen sein. Den ersteren, für den auch die Regionalbezeichnung Kulm gebraucht wird, hat der Belgier L. G. de Koninck (1809—1887)

in den vierziger Jahren besonders gründlich bearbeitet. Über dem Karbon endlich liegt die schon von den deutschen Geologen des 18. Jahrhunderts, vorab von Füchsel, in ihrer Eigenart erkannte Dyas, aus Rotliegendem und Zechstein zusammengesetzt; Murchison brachte für sie den auf das östliche Rußland hinweisenden Namen Perm auf, der bei näherem Zusehen sich als kein recht glücklich gewählter erwies, weil gerade jenes russische Gouvernement keine ausgezeichneten dyadischen Ablagerungen aufweist. Bald zeigte sich eine sehr kräftige Entfaltung letzterer im nordamerikanischen Prairiegebiete.

Oberhalb des Paläozoikums beginnt das Bereich des tierischen Mittelalters, dessen schärfere Abgrenzung in allererster Linie das Verdienst v. Buchs ist. Merian, Hausmann, Hofmann hatten noch keinen durchschlagenden Erfolg zu erzielen vermocht, und die Erkenntnis, daß die unterste, mächtige Lage eine dreigeteilte sei, dankte die geologische Welt den beiden zu gemeinsamem Schaffen vereinten Forschern v. Dechen und K. v. Oeynhausen (1795—1865), die 1825 ihr Werk über die mittelrheinischen Gebirge veröffentlichten. Nun kam man überein, daß, vom Zechstein ab nach aufwärts gerechnet, die drei großen Etagen Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper sich überlagerten; letzteren Namen hatte v. Buch vorgeschlagen, und selbst fremdsprachliche Litteraturen haben die Kunstausdrücke Muschelkalk und Keuper adoptiert. Noch fehlte jedoch eine passende Benennung für die nun selbständig gemachte Formation, und diesen verlieh ihr v. Alberti 1834 in einer Monographie, deren grundlegenden Charakter In- und Ausland bereitwilligst anerkannte. Die Trias heißt seitdem auch in solchen Ländern so, wo, wie in England, der eine oder andere Bestandteil deshalb fehlt, weil der Boden in jener Periode, in der sich die betreffenden Absätze niederschlugen, nicht von Wasser bedeckt war. Die weitere Differentiierung der Mittelgebirgstrias, denn auf diese mußte man sich vorläufig beschränken, vollzogen v. Alberti, Quenstedt und A. v. Strombeck (geb. 1809), der genaueste Kenner der Stratigraphie von Braunschweig.

Heute besteht kein Zweifel mehr darüber, daß auch in unseren Alpen keine Formation, soweit nicht die wesentlich aus Urgestein

bestehenden Zentralzüge in Betracht kommen, so gewaltig entwickelt ist, wie eben die Trias, allein obwohl die Entstehungszeiten die gleichen sind, so hat sich doch im Aussehen und in der tierischen Bewohnerschaft die alpine Trias grundverschieden von derjenigen Mittel- und Norddeutschlands gestaltet. Die Jetztzeit hat auch den Grund dieser Abweichung aufgedeckt, indem festgestellt ward, daß die Triasfauna des Hochgebirges eine pelagische, in einem tiefen Meere lebende war, wogegen anderwärts ein limnischer, auf seichtes Wasser deutender Typus zu bemerken ist. Daß man in dieses Geheimnis erst sehr allmählich eindrang und deshalb den thatsächlichen Parallelismus lange nicht erkannte, ist um so einleuchtender, da man ja, wie wir erfuhren, den Kalkalpen einen ganz auffälligen Mangel an Versteinerungen zuschrieb. Auch v. Buch wußte, wie seine Darstellung auf der Karte von 1826 ausweist, mit dem sogenannten Alpenkalk noch nicht viel anzufangen, und erst im Jahre nachher brachte T. Catullos (1782 bis 1869) zu Verona erschienene Schrift „Saggio di zoologia fossile delle provincie Austro-Venete“, die sich auf Maraschinis (1774—1825) geognostische Beschreibung der Umgegend seines Wohnortes Schiò stützte, eine Wendung; bei Recoaro im Vicentinischen, wo sich seither unzählige Geologen zusammengefunden haben, stand unzweifelhaft echter Muschelkalk an. Das Jahr 1831 brachte v. Buchs inhaltreichen Berliner Akademievortrag über die bayerischen Alpen mit seiner Identifizierung des Tegernseer Lias, über dessen Beziehungen zur Trias man freilich noch nicht recht Bescheid wußte, und 1834 entdeckte der gleiche unermüdliche Wanderer die berühmte Fauna bei dem ladinischen Orte St. Kassian, wo sich auf kleinem Areale eine ungeheure Mannigfaltigkeit von Tierformen zusammendrängt. Darüber, daß letztere triassisch seien, herrschte zwischen Bronn, v. Klipstein und dem als kundiger Petrefaktensammler in großem Ansehen stehenden Grafen G. zu Münster (1776—1844) Übereinstimmung, aber der Ort, wohin man die St. Kassianer Schichten zu verlegen hatte, in den alpinen Muschelkalk oder in den alpinen Buntsandstein, blieb noch unaufgeklärt; ja Quenstedt plädierte sogar für Zuordnung zur Kreide. Hier griff 1846 v. Hauer werkthätig ein, dessen schöne

Arbeit über die Kephalopoden des Hallstatter Kalkes nach Tietze nur durch die Munifizenz des der Geologie erwähntermaßen allzeit gewogenen Fürsten Metternich unter die Presse gelangte. Es ergab sich, daß die Hallstatter Schichten mit denjenigen von St. Kassian vielfach zoologisch übereinstimmten, und zwar wurden beide nunmehr dem oberen Muschelkalk einverleibt. Als v. Hauer 1853, im Todesjahre v. Buchs, einen ausführlichen Bericht über die neuesten, größtenteils durch die jungen Kräfte der „Reichsanstalt“ errungenen Erfolge bezüglich schärferer Gliederung der Hochgebirgstrias erstattete, waren die großen Leitlinien endgiltig fixiert. Für die bayerische Trias hatten Schafhäutl und H. F. Emmrich (1815—1879), für die oberitalienisch-tirolische Stoppani und F. Foetterle (1823—1876), für die ostschweizerische Merian und der jüngere Escher eine sachlich zumeist übereinstimmende Rangordnung der Schichten aufgestellt. Ungemein viel blieb, wie wir uns später noch überzeugen werden, der zweiten Hälfte des Jahrhunderts vorbehalten, aber man durfte doch mit allem Rechte sagen, daß eine wissenschaftliche Alpengeologie in der Ausbildung begriffen war. Noch 1841 hatte ein gründlicher Arbeiter, H. L. Wißmann (geb. 1815), einen furchtbar pessimistisch klingenden Satz niedergeschrieben: „Das alpinische Sedimentgebirge bleibt, um mit Studer zu reden, der Wissenschaft, wie dem Auge des gemeinen Mannes ein regelloses Gewirre von Schiefern, Sandstein und Kalkmassen . . . weil die Natur in den Alpen diejenigen Gesetze in der Ablagerung der verschiedenen Formationsglieder und ihrer Petrefakten nicht befolgt hat, welchen man nach anderweiten Beobachtungen eine zu große Allgemeinheit zuschrieb.“ Diese trübe Anschauung war schon nach einem Dezennium durch die Thatsachen widerlegt worden, und die Gelehrtenwelt mußte einräumen, daß nicht die Natur aus ihrem geregelten Gleise herausgetreten war, sondern daß lediglich die menschlichen Untersuchungsmittel sich zunächst noch nicht hinlänglich verfeinert hatten, um dem Walten der Natur auch auf verschlungeneren Pfaden folgen zu können.

Wir wenden uns der nächstjüngeren Altersstufe der mesozoischen Ära, dem Jura, zu. Hier ist L. v. Buch geradezu der Alleinherrscher. War er es doch, der zuerst, so groß auch die

tektonische Verschiedenheit der betreffenden Gebirge ist, die stratigraphische Einheitlichkeit von Französisch-Schweizerischem, Schwäbischem und Fränkischem Jura und dessen Analogien in England mit klarem Blicke erkannte! Die Engländer hatten ihre Oolithbildungen allerdings ausgiebig studiert; auch hatte E. Thirria sein „système jurassique“, dessen Bezeichnung jedoch eine ungleich beschränktere war, als sie später wurde, den britischen Oolithstufen mit Glück zur Seite gestellt, und J. Thurmann (1804—1855), sowie Graf Mandelslohe hatten für einzelne Gebirgsteile die Schichtenanordnung zutreffend bestimmt. Aber selbst A. Greßly (1814—1865), der ebenso durch naturwüchsige Genialität, wie durch seine Sonderbarkeiten ausgezeichnete Schweizer, glaubte es sich noch versagen zu müssen, die von ihm mit höchster Akribie bestimmten Juraglieder des heimischen Gebirges den englischen Bildungen synchronistisch anzugleichen. Gerade so ging es auch in anderen europäischen Ländern; „für alle diese Gebiete“, so spricht sich v. Zittel aus, „wirkte die englische Schablone geradezu als Hemmschuh“. Greßly hatte, worauf gleich nachher zurückzukommen sein wird, bei dem Streben, diese Hindernisse zu überwinden, folgenreiche Entdeckungen gemacht, aber in der berechtigten Furcht, sich über den Rahmen hinaus zu verirren, innerhalb dessen selten vollkommene Autopsie ihn so sicher leitete, legte er sich lieber eine Resignation auf, die rein menschlich begreiflich und billigenswert ist, im Interesse der auch durch Irrtümer gar oft nachhaltig befruchteten Wissenschaft aber doch bedauert werden muß. „Wer sich nicht getraut, gelegentlich auch einmal seinen Mitmenschen als ein Narr zu erscheinen, weil seine Denkweise von der ihrigen abweicht, wird es zu nichts Rechtem bringen,“ schrieb Schoenbein einmal an J. v. Liebig.

Hier nun setzte v. Buch ein, und er, der so viel von der Welt gesehen hatte, war wie kein zweiter dazu geeignet, die Bedenklichkeit abzustreifen, welche Greßly befangen gemacht hatte. Er setzte den englischen Lias gleich dem in Deutschland bekannten schwarzen Jura, den Dogger gleich dem braunen Jura, den Malm gleich dem weißen Jura und gab die Leitfossilien an, mit deren Hilfe die Zugehörigkeit eines bestimmten Horizontes zu einer dieser drei

Etagen ermittelt werden kann. Eine kleine Laune v. Buchs bestand darin, daß er diese maßgebenden Versteinerungen als „Leitmuscheln“ bezeichnete, auch wenn die betreffenden Tiere keine wirklichen Zweischaler, sondern beliebige andere Mollusken waren. Für ein begrenztes Territorium baute Quenstedt das Buchsche System bis in die feinsten Einzelheiten aus; leider aber ist seine Klassifikation ausschließlich auf schwäbische Verhältnisse zugeschnitten, und auch die ihm eigentümliche Buchstabenbezeichnung der einzelnen Bänke läßt sich nicht so leicht auf andere Gebirge übertragen. Um so mehr hielten ihren Blick auf das Weite gerichtet d'Orbigny und A. Oppel (1831—1865); dieser in frühem Alter dahingeschiedene Gelehrte hat, wie sich herausstellen wird, am erfolgreichsten in v. Buchs Geiste fortgearbeitet.

Von Kreidebildungen ist in der geognostischen Litteratur seit Werner viel die Rede, aber es gebrach an einer einheitlichen Auffassung derselben, und erst später schufen Brongniart und Omalius d'Halloy für Frankreich und Belgien, sowie etwas später E. d'Archiac (1802—1869) in größerem Ausmaße eine den örtlichen Umständen angepaßte Klassifikation. Und wieder war es v. Buch, der die bald allgemein zugegebene Notwendigkeit hervorhob, ohne jedwede Rücksicht auf die petrographische Beschaffenheit eine besondere Kreideformation dem Jura zu superponieren. Schon 1828 hatte er in diese Formation die Hippuriten („Kuhhörner“) der Salzburger Alpen gewiesen, und als durch die wichtigen Untersuchungen von Roemer und H. B. Geinitz (1814—1899) das Auftreten gewisser hierher gehöriger Ablagerungen auch in Norddeutschland nachgewiesen worden war, trat v. Buch mit seiner umfassenden Abhandlung vom Jahre 1849 hervor, welche die geographische Verbreitung der kretazischen Formation über die ganze bislang erforschte Erdoberfläche verfolgte und die wertvollsten Anregungen für jenen Teil der Geologie lieferte, die man zur Zeit als Paläogeographie kennt, und die uns hauptsächlich darauf hinweist, wie in den einzelnen Zeitabschnitten der geologischen Vergangenheit Festland und Wasser verteilt waren. Der von Geinitz gebrauchte Ausdruck Quadersandsteinformation wurde von Beyrich bekämpft und konnte sich auch

eine allgemeinere Geltung schon deshalb nicht verschaffen, weil die betreffende Absonderungsform kein untrügliches Kennzeichen der Kreidebildungen darstellt, welch letztere ja auch — darauf legt v. Buch einigen Nachdruck — nicht gerade weiße Schreibkreide zu führen brauchen.

Desnoyers und Deshayes hatten, wie früher zu bemerken war, das über der Kreide liegende Tertiär in großen Zügen abgegrenzt, und Lyell hatte zu Beginn der vierziger Jahre eine normative Scheidung dieses Systemes in drei Unterabteilungen angegeben, zu denen nur nachher noch eine vierte hinzugetreten ist. Je nachdem dem Alter nach eine dieser Abteilungen die geologische Morgenröte (ἠώς) ankündigt oder noch wenig oder endlich schon viel mehr neu (καινός) genannt werden muß, sollte sie Eozän, Miozän und Pliozän heißen, und diese Termini haben sich schnell eingebürgert. Durch Beyrichs von 1847 bis 1854 sich erstreckende Durchforschung des norddeutsch-belgischen Tertiärs wurde man der Thatsache inne, daß zwischen Eo- und Miozän keine rechte Grenzfläche zu legen sei, und darum fand des Genannten Vorschlag Anklang, zwischen beide die erwähnte neue Etage, das Oligozän (ὀλίγος, wenig) einzuschieben. Ein längerer Streit über die Zuteilung der Nummuliten („Münzsteine") zur meso- oder känozoischen Ära, den insonderheit Schafhäutl verwickelt machte, weil er diese Protisten auch in viel tieferem Niveau beobachtet haben wollte, konnte erst ziemlich viel später (1865) von Gümbel geschlichtet werden, und seitdem sind die niedlichen Scheibchen Bürger des Eozäns. Von der ungezählten Menge namhafter Geologen, welche an der Detailgliederung des Tertiärs mit arbeiteten, kann hier begreiflicherweise nicht gesprochen werden, um so weniger, da jetzt so ziemlich alle Wirbeltiere, teilweise in verwirrender Fülle von Gattungen, Arten und Varietäten, paläontologische Berücksichtigung verlangen. Die tertiäre Konchylienfauna fand einen überaus korrekt arbeitenden Biographen in F. Sandberger (1826 bis 1898), dessen Spezialarbeiten über die Miozänbildungen des Herzogtums Nassau und des Mainzer Beckens von vorbildlicher Bedeutung für ähnliche Zwecke geworden sind.

Die beiden Bestandteile des sogenannten Quartärs, die man als Diluvium und Alluvium unterscheidet, geben an diesem

Orte keinen Anlaß zu geschichtlichem Rückblicke. Sie gehören ganz und gar der terrestrischen Morphologie an, und nur in einem einzigen Punkte nehmen sie das Interesse des Paläontologen, dann freilich auch in um so höherem Maße, in Anspruch. Wir meinen das Auftreten des Menschen, der bisher in keiner älteren Bildung, als im Diluvium, fossil, d. h. in diesem Falle prähistorisch, nachgewiesen werden konnte.

Von den großen Fortschritten, welche auch die reine, d. h. nicht unmittelbar zur stratigraphischen Altersbestimmung ausgenützte Versteinerungskunde in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts machte, haben wir bereits Notiz genommen. Die biologische Richtung stand zunächst noch im Hintergrunde, und die Anschauungen über Artumwandlung, welche J. B. de Lamarck (1744—1829) seit 1801 in die Welt sandte, blieben ohne erkennbare Resonanz. Nur v. Buch zollte dem kühnen Autor der „Philosophie zoologique" seine volle Achtung, und in der That verdient derselbe unter den Vorläufern Darwins eine besonders ehrenvolle Stelle, wie denn neuere Deszendenztheoretiker sogar behaupten, daß die Lamarcksche Theorie zwar minder fein durchgearbeitet, an Großartigkeit der Gesichtspunkte dagegen der Lehre von der Selektion noch überlegen sei. In der Hauptsache blieb man bei dem dogmatischen Grundsatze stehen: Die Art ist unwandelbar. Er beherrscht, obwohl z. B. Bronn die Starrheit der Artbegrenzung nicht billigte, doch die meisten Lehr- und Handbücher unserer Periode, unter denen F. J. Pictets „Traité élémentaire de paléontologie" (Paris 1844—1846) und der „Index palaeontologicus" von Bronn, H. R. Goeppert (1800—1884) und H. v. Meyer (1801—1869) am meisten hervortreten.

Die niederen Tiere, die man als Protisten oder Protozoen zusammenfaßt, kommen fossil in den verschiedensten Formationen vor und wurden von d'Orbigny, Reuß, Ehrenberg mikroskopisch untersucht. Die Natur der Schwämme wurde erstmalig um 1825 von R. Grant aufgeklärt, und als im Jahre darauf Goldfuß und Graf Münster ihre „Petrefacta Germaniae" herauszugeben begannen, konnten sie schon 75 Arten von Spongien unterscheiden. Zum Begründer der fossilen Korallenkunde wurde halb unfrei-

willig Ehrenberg infolge des Umstandes, daß er, mit den Existenzbedingungen dieser kalkausscheidenden Polypen noch wenig bekannt, auch in Meeren der gemäßigten Zone nach lebenden Korallen suchte, jedoch nur versteinerte fand. Die Echinodermen waren von Cuvier auf ihre Stellung im zoologischen Systeme geprüft worden, aber erst v. Buchs klassische Arbeiten über die Seelilien, die seit 1840 den Forscher angelegentlich beschäftigten, lenkten auch die Versteinerungskenner auf diesen Formenkreis hin, dem L. Agassiz und E. Desor auch die Seeigel einverleibten. Die Heraushebung der Mooskorallentierchen oder Bryozoen aus der verwirrenden Mannigfaltigkeit der Korallen und die Erhebung ersterer zur Selbständigkeit bewirkte 1850 H. Milne Edwards (1800—1885). Vielfach wurde noch zwischen Muscheln und Brachiopoden, obwohl dieser Name schon seit 1807 im Umlaufe war, kein besonderer Unterschied gemacht, bis 1834 v. Buch den Armfüßlern ihre Autonomie sicherte und die an den Terebrateln ermittelten Kennzeichen („Schnabelregion") bekannt gab. Für diese Tiere wurden seit 1851 Th. Davidsons (1817—1885) Monographien die oberste Quelle der Belehrung. Durch Cuvier und de Lamarck war man auf die Kephalopoden als eine ganz originell dastehende Tiermannigfaltigkeit aufmerksam geworden, aber die zoologische Klassifikation erschien schwierig, bis v. Buch die noch jetzt gebräuchliche Ammoniten-Terminologie einführte und zugleich das Mysterium der sogenannten Aptychen dadurch aus der Welt schaffte, daß er diese sonderbaren Formen als Teile vorweltlicher Weichtiere definierte. Die fossilen Insekten, im Karbon sehr häufig, hatten sich der liebevollen Beachtung E. F. Germars (1786—1853) zu erfreuen. Die Lehre von den fossilen Wirbeltieren, zuvor ein ungeordnetes Aggregat zerstreuter und verworrener Einzelthatsachen, hatte Cuviers Genialität aus dem Zustande des Chaos erhoben, und das von ihm divinatorisch erschlossene Gesetz der Korrelation der einzelnen Körperteile setzte ihn in den Stand, aus spärlichen Resten den Körperbau des Tieres zu rekonstruieren. Die versteinerten Fische bildeten den Gegenstand des kostbaren Werkes, welches L. Agassiz in den Jahren 1833 bis 1843 herausgab; ihn unterstützten dabei A. Valen-

ciennes (1794—1864) und K. Vogt (1817—1895), und sowohl A. v. Humboldt wie auch L. v. Buch förderten die Herausgabe in jeder möglichen Weise. Obwohl Agassiz auch später für einen Schöpfungsplan eintrat, der die Anordnung der Familien, Klassen, Gattungen, Arten ein- für allemal geregelt habe, sprach er sich doch in jenem Werke dahin aus, daß die zeitlich geologische Folge stets auch ihr embryologisches Spiegelbild erkennen lasse. Den lange fast ganz übersehenen Gegensatz zwischen den einfacher gebildeten und deshalb in der Erdgeschichte auch früher sich meldenden Amphibien und den höher entwickelten, erst im Mesozoikum zu dann allerdings üppigster Entfaltung gelangenden Reptilien legte erst 1820 B. Merrem (1761—1824) wissenschaftlich fest; die permischen und alttriassischen Labyrinthodonten beschrieben 1844 H. v. Meyer und W. H. Th. Plieninger, und erstgenannter trat 1830 der schwierigen Aufgabe näher, die Reptilien — beim Mangel eigentlicher Schlangen vor der späteren Kreidezeit wesentlich Schildkröten und Saurier — wissenschaftlich zu ordnen. Doch wurde seine Einteilung durch diejenige R. Owens (1804—1892) verdrängt, dem v. Zittel nachrühmt, es habe kein anderer die morphologische und anatomische Kenntnis dieser Klasse so wie er gefördert. Von versteinerten Vögeln wußte man wenig; über den in Neu-Seeland aufgefundenen Riesenvogel Dinornis hielt v. Buch 1850 den in Aarau versammelten schweizerischen Naturforschern einen Vortrag. Um so mehr interessierten die fossilen Säugetier-überreste, die einstweilen strenge auf das känozoische Zeitalter beschränkt erschienen. Daß es auch in Deutschland einmal Elephanten und Nashörner gegeben habe, erfuhr noch das 18. Jahrhundert durch den hessischen Naturforscher Merck, und gegen das Ende der zwanziger Jahre machten die großartigen Knochenfunde von Cannstadt viel von sich reden. An Cuviers musterhafte Arbeiten, durch welche insbesondere die diluviale Höhlenfauna bereichert worden war, lehnte sich H. M. de Blainvilles (1778 bis 1850) systematische Darlegung des gesamten aktuellen Wissensstandes an, der 1847 C. G. A. Giebel (1820—1881) eine weitere nachfolgen ließ. Als Spezialisten traten besonders H. v. Meyer und A. Wagner (1797—1861) in die Schranken, welch letzterem

die schöne Aufgabe zufiel, die überaus differentiierte Säugetierfauna, die bei Pikermi in Attika aufgedeckt worden war, zu bearbeiten. Für das Höhlendiluvium haben Buckland und P. Ch. Schmerling (1791—1836) Großes geleistet, während H. Falconer uns die tertiäre Tierwelt Indiens kennen lehrte.

Im allgemeinen hat von je die Zoopaläontologie mehr Freunde als die Phytopaläontologie gefunden, die erst vor etwa hundert Jahren den Charakter einer geologischen Disziplin annahm, dann aber, dank den unermüdlichen Anstrengungen eines E. F. v. Schlotheim (1764—1832), Grafen K. M. v. Sternberg (1761—1838) und A. Brongniart, einen kräftigen Aufschwung nahm. Zur feineren Unterscheidung der botanischen Merkmale verkieselter Hölzer diente seit 1830 das Mikroskop, und für diesen besonderen Zweck stellte man sogar die oben besprochenen Dünnschliffe weit früher her, als man in ihnen das mächtigste Vehikel der Gesteinskunde kennen gelernt hatte. Nach dieser Seite hin boten die zu Beginn der vierziger Jahre gedruckten Schriften von A. J. Corda (1809—1849) die reichste Anregung, und um die gleiche Zeit nahm Goepperts umfängliche schriftstellerische Thätigkeit ihren Anfang. Zumeist hatte man sich auf die älteren Bildungen, unter denen das Karbon den größten Reiz gewährte, beschränkt; das Tertiär stand noch im Schatten, wenngleich v. Buch auf phytopaläontologischem Wege die miozänen Braunkohlenablagerungen chronologisch zu fixieren getrachtet hatte. Neues Leben kam in das Studium der Tertiärflora, als A. Braun (1805 bis 1877) 1845 die berühmten Steinbrüche von Öningen bei Schaffhausen durchforschte, in denen dereinst der Züricher Naturforscher J. J. Scheuchzer den „versteinerten Menschen", einen gigantischen Salamander, aufgefunden hatte. Nächstdem erschienen jetzt auch bereits litterarische Arbeiten der beiden Botaniker, welche in einer späteren Zeit als die Meister der känozoischen Floristik allseitig anerkannt wurden, des Österreichers F. Unger (1800—1870) und des Schweizers O. Heer (1809—1883).

Man darf wohl ungescheut behaupten, daß die ersten fünf Jahrzehnte des 19. Jahrhunderts einen ungemein reichhaltigen Ertrag für die Paläontologie abwarfen, und daß auf dem damals

bereiteten Boden durchaus auch die Folgezeit stehen geblieben ist, mag auch die Zuverlässigkeit der Untersuchungsmethoden inzwischen noch so sehr verschärft worden sein. Eine wie bedeutende Kräftigung der zur Zeit einer rein äußerlichen Bestimmung des Schichtalters im Dunkeln tappenden Stratigraphie auf diese Weise zu teil wurde, ist uns bereits zum klaren Bewußtsein gekommen. Gerade die oben nur gestreifte, thatsächlich auf seine Beschreibungen zurückzuführende Entdeckung Greßlys, daß man an gewissen Kennzeichen zu entscheiden vermöge, ob ein fossiles Tier der pelagischen Fauna oder der Strandfauna oder der limnischen Brack- und Süßwasserfauna zuzurechnen sei, hatte bedeutende Folgen. Die damit begründete Lehre von der geologischen Facies, von der sich ja freilich gelegentliche Anklänge auch früher schon, bei A. Soldani (1733—1808) zum Beispiel, nachweisen lassen, hat der historischen Geologie, der Lehre von der Altersbestimmung der Schichten, viel genützt. Und ohne Vertrautheit mit historischer Geologie, mit den chronologischen Wechselbeziehungen gestörter Lagerungsverhältnisse ist wiederum die dynamische Geologie, die nunmehr an die Reihe zu kommen hat, nicht vermögend, mit einiger Sicherheit den Wirkungen der am Oberflächenmodelle der Erde thätigen Kräfte nachzuspüren.

Der alte Span zwischen Plutonisten und Neptunisten braucht uns nicht mehr näher zu berühren; freilich hat sich später, im Anschlusse an G. Bischof, wieder eine jungneptunistische Richtung ausgebildet, die es an enthusiastischem Eifer den Wernerianern vollständig gleichthat, aber bei der großen Mehrzahl der Geologen aus der ersten Jahrhunderthälfte hatte die Überzeugung platzgegriffen, daß Wasser und Feuer bei der Bildung der gegenwärtigen Erdkruste gleichmäßig beteiligt waren, quantitativ natürlich das Wasser in höherem Maße. In die Lehre vom Vulkanismus, der sich aus den Banden der kleinlichen Erdbrandtheorie aufs entschiedenste losgewunden hatte, warf v. Buch einen Streitapfel, als er die gewöhnlichen Vulkane grundsätzlich den Erhebungskratern, Aufblähungen der Erdrinde, die des Zusammenhanges mit dem unterirdischen Heder entbehrten, gegenüberstellte. Alle Basaltinseln gehörten ihm zu-

folge in diese letztere Klasse. Die Möglichkeit, daß durch stetigen Zuwachs lockerer, mantelförmig das bereits gebildete Vulkangerüste umhüllender Schichten ein Stratovulkan zu stande kommen könne, stellte v. Buch in Abrede. Trat er so in Widerspruch mit Thatsachen, die seitdem unwidersprechlich begründet worden sind, so hat er sich doch andererseits unvergängliche Verdienste erworben durch seine geistvollen Aufschlüsse über Zentral- und Reihenvulkane, über die schnurartige Reihung der Archipele im Osten Asiens und überhaupt in der Begründung einer das physiographische Moment sorgfältig berücksichtigenden Vulkangeographie. In diesem letzteren Punkte hat er seinen Freund v. Humboldt beeinflußt und ist von diesem wieder beeinflußt worden; ihre beiderseitigen Arbeiten überragen weit die in ihrer Art dankenswerte Vulkanstatistik von C. G. B. Daubeny (1795 bis 1865), die 1826 dem Publikum vorgelegt ward. Gegen die Erhebungskrater erhoben G. J. Poulett-Scrope (1797—1876) und Lyell Fehde, geleitet durch ihre an den außer Aktivität gesetzten Vulkanen Frankreichs und der Eifel gesammelten Erfahrungen; auch J. Steininger (1794—1874), dem gegenüber sich v. Buch dahin äußerte, daß, wer die Eifel nicht kenne, überhaupt auf kein Urteil über vulkanische Erscheinungen Anspruch erheben dürfe, wurde aus einem Anhänger seines berühmten Korrespondenten schließlich dessen Gegner, wenn auch nur bedingt. Das Werk Poulett-Scropes, welches 1825 zuerst ausgegeben wurde, vervollkommnete Auflagen aber bis in die neueste Zeit erleben sollte, enthält in den großen Leitlinien genau das gleiche vulkanologische System, welches unsere modernen Kompendien vorführen, indem nur einstweilen v. Buchs einseitige Abneigung gegen die Zulassung von Aufschüttungskegeln in die entgegengesetzte Einseitigkeit verkehrt wird; alle Feuerberge sind jetzt geschichtete Vulkane, und für homogene ist kein Platz übrig. Den britischen Widersachern des deutschen Meisters gesellten sich der Deutsche Fr. Hoffmann und der Franzose C. Prévost (1787 bis 1855) bei; man muß es dem sonst so eigenwilligen Manne nachrühmen, daß er in einer Rezension des von Hoffmann nachgelassenen Werkes auf das glimpflichste mit dem allzu früh Dahin-

geschiedenen umging, wenn ihm auch dessen Ansichten über das Auftauchen und Wiederverschwinden der Insel „Ferdinandea“ im Mittelländischen Meere höchst ketzerisch vorkommen mußten. Auch fand er einen thatkräftigen Genossen in Elie de Beaumont, der experimentell — aber irrig — die Unmöglichkeit steilerer Neigungswinkel bei lose geschichteten Massen dargethan zu haben vermeinte. Er und Dufrenoy blieben bei v. Buch stehen, während die Mehrzahl der französischen Fachmänner sich von ihm abwandte; aber in Deutschland ließ sich die Theorie der Erhebungskrater schwerer erschüttern, und als deren Urheber starb, konnte er dieselbe als befestigt betrachten. Freilich hat sie die sechziger Jahre nicht überlebt. Physikalische Spekulationen über den Eruptionsakt waren wenig beliebt; H. Davy und Daubeny glaubten chemische Umsetzungsakte als Triebfeder der nach oben gerichteten Magmabewegung ansprechen zu müssen, aber viele hielten an der aus dem 18. Jahrhundert herübergenommenen Auffassung fest, daß die Expansivkraft der durch einträufelndes Wasser erzeugten Dämpfe die wahre bewegende Ursache sei.

Die Erdbeben pflegte man, wie u. a. Hoffmanns oben genanntes Werk (ed. v. Dechen, Berlin 1837—1838) zum Ausdrucke bringt, als eine Art notwendiger Konsequenz des Spieles der vulkanischen Kräfte anzusehen. Die Humboldtsche Reise hatte der Vorstellung Oberwasser verschafft, daß die feuerspeienden Berge Sicherheitsventile einer Gegend seien, deren Verstopfung entweder eine Erderschütterung oder doch zum mindesten jenes furchtbar rollende, subterrane Geräusch zur Folge habe, das dem großen Reisenden von Riobamba her bekannt war. Auch v. Buch ließ nicht ab von der vulkanistischen Hypothese, und als er 1799 selbst in Schlesien einen Erdstoß fühlte, appellierte er zur Erklärung an „einen ausgetretenen Arm eines Gasstromes von dem großen Meere im südlichen Europa, dessen Quellen nie versiegen“. Immerhin ist dieser kurze Aufsatz doch auch wieder der Träger eines gewissen Fortschrittes, indem sein Verfasser an die Möglichkeit, kartographisch die Stelle stärkster Erschütterung — das Epizentrum, wie wir heute sagen würden — festzulegen, kluge Erörterungen knüpft. Später erlebte er in Neapel ein zweites Erd-

beben, während eben ein Paroxysmus des Vesuv im Gange war, und da gestand v. Buch offen, der Ausbruch sei doch wohl mit dem anderen Ereignis nicht in unmittelbare Kausalverbindung zu bringen, weil das meist erschütterte, epizentrale Gebiet ziemlich weit seitab von dem Berge lag. Weitere Folgerungen wurden indessen aus dieser bemerkenswerten Wahrnehmung vorerst nicht gezogen. Man suchte die Ursachen der seismischen Erscheinungen, wofür die im Jahre 1827 gekrönte Preisschrift von F. C. Kries (1768—1849) den deutlichsten Beleg abgiebt, an allen möglichen Orten, nur gerade nicht da, wo sie in der Mehrzahl der Fälle zu suchen sein wird, nämlich in der internen Umlagerungen unterworfenen Erdkruste. Eine sehr verdienstliche Erdbebenstatistik arbeitete 1841 A. Perrey (1808—1882) aus, und dieser ersten Veröffentlichung ist manche andere nachgefolgt. Minder günstig war Perreys Einfluß auf die Erdbebenkunde insofern, als er der Vater jener Ansicht ist, nach welcher die Anziehung der Himmelskörper auf das glutflüssige Erdinnere sowohl vulkanische Eruptionen als auch Erdstöße veranlassen soll — einer Irrlehre, die, von skrupelfreien Hypothetikern weiter gebildet, der ernsten Forschung nachmals mitunter geradezu hindernd in den Weg getreten ist.

Die Lehre von der Gebirgsbildung, deren einzelne Teile Naumanns treffliches Handbuch von 1850 bereits mit dem — übrigens auch in Senecas „Naturales quaestiones" vorgebildeten — bezeichnenden Namen Geotektonik zusammennimmt, stand fast durchaus unter dem Zeichen der uns aus dem Anfange dieses Abschnittes erinnerlichen Kataklysmenlehre. Hier trafen Hutton und v. Buch zusammen, indem sie annahmen, daß die großen Kettengebirge der Erde durch den nach oben gerichteten Druck des Magmas aufgerichtet worden seien; da dieser natürlich nicht allenthalben gleichmäßig wirken konnte, so schienen sich Neigung, Verbiegung, Faltung und Zerreißung der Schichten einfach begreifen zu lassen. Mit jeder solchen Hebung, so schloß v. Buch weiter, war eine Spaltenaufquetschung und ein Austritt magmatischer Materie, die jetzt zur langsam erstarrenden Lava wurde, verbunden. Einen entscheidenden Beweis für die Richtigkeit dieser Hebungstheorie sah er in den südtirolischen Dolomitbergen, die sich

ja auch wirklich in der Nähe namhafter Porphyraustritte finden; von Hause aus, so schloß er, bestanden diese Erhebungen aus gewöhnlichem, horizontal geschichtetem Triaskalk, und als die Intrusivmassen empordrangen, bewirkten aufsteigende Magnesiadämpfe die Dolomitisierung des Kalkes, aus dem nachher der leicht zerstörbare Talk erosiv ausgeschieden wurde. Dieser Auslaugungsprozeß hatte zur Folge, daß die Dolomite jenen bizarr zerrissenen Oberflächencharakter erhielten, der ihre landschaftliche Großartigkeit bedingt. In chemischen Kreisen stieß diese Erklärung auf Widerspruch, aber den Geologen machte sie die geistreiche Verkettung mehrerer anscheinend gegeneinander neutraler Ereignisse unter dem nämlichen Gesichtspunkte annehmbar, und daher hat sie denn auch lange das Terrain beherrscht. Für Deutschland unterschied v. Buch vier zeitlich verschiedene Hebungsrucke, als deren Resultate sich uns, dem Alter nach geordnet, das niederländische, nordöstliche, rheinische und alpine Gebirgssystem darstellen; die durchaus zutreffende Herausschälung dieser vier tektonischen Leitlinien ist ganz unabhängig von der Hebungstheorie selber und hat letztere als ein vorzügliches didaktisches Hilfsmittel zur Orientierung in den verwickelten Verhältnissen des deutschen Gebirgsbaues überdauert.

Neben seinem alten Freiberger Studiengenossen, dessen „Kosmos“ im dynamisch-geologischen Teile nirgendwo den überzeugten Anhänger v. Buchs verkennen läßt, konnte sich letzterer kaum eines treueren Gefolgsmannes rühmen, als des mit Recht hoch geachteten französischen Geologen Elie de Beaumont. Seine einschlägigen Publikationen verbreiten sich über den langen Zeitraum von 1829 bis 1858 und gipfeln in dem Satze, daß die Spalten, durch welche die magmatischen Massen austreten, eine regelmäßige geometrische Anordnung aufweisen, einem dodekaedrischen Netze auf der Erdoberfläche sich anpassen. Abgesehen davon, daß in den großen terrestrischen Gebirgssystemen eine derartige Regelmäßigkeit ohne Zwang nicht aufgezeigt werden kann, ist auch gegen die aus der Hebungstheorie entspringende, aprioristische Konstruktion des Gebirgsbaues mancherlei einzuwenden; es trifft nicht zu, daß die Gebirgsachse immer aus Granit u. dergl. bestehen, und daß sich auf beiden Seiten der Neigungswinkel der sedimentären Schichten

gleichförmig vermindern soll. Das „Réseau pentagonal“ hat, wie man sich bei näherem Zusehen vergewissert, niemals mehr als einen Achtungserfolg erzielt.

Das hohe Verdienst, die Faltenbildung durch doppelseitigen Lateralschub als ein hochwichtiges Moment der Gebirgsbildung in den Vordergrund gerückt zu haben, kommt dem Jura-Bewohner J. Thurmann (1804—1855) zu, der in diesem klassischen Faltengebirge an der vertikalen Aufrichtung irre wurde. Seine 1830 geschriebene, bahnbrechende Abhandlung fand merkwürdigerweise bei v. Buch eine sehr wohlwollende Beurteilung; man möchte fast glauben, daß dieser scharfsinnige und stets kampfbereite Kritiker sich durch das vieldeutige Wort „soulèvement“ täuschen ließ und den tief gehenden Gegensatz, der seine Fundamentalanschauung von derjenigen Thurmanns trennt, nicht gehörig würdigte. Aber auch Cordier und Prévost neigten der Meinung zu, daß die durch Ausstrahlung und Abkühlung des Erdballes verursachte Schrumpfung die Erdoberfläche in Runzeln lege, und seit 1846 erstand dieser Kontraktionshypothese ein gewandter Kämpe in dem Amerikaner Dana, dem Le Conte (geb. 1823) sekundierte. Dana hat auch die tektonische Kunstsprache durch eine Reihe gut gewählter Ausdrücke verbessert, unter denen wir nur die jetzt jedem geologischen Anfänger geläufige Antithese Synklinale — Antiklinale hervorheben wollen.

Wird die Erdrinde durch irgendwelche, radial oder horizontal wirkende Kräfte beansprucht, so muß man deren Wirkung auch an den Schwankungen der Küstenlinie erkennen. Playfair (1802) und, noch weit entschiedener, v. Buch (1808) stellten die Erdfeste als das Bewegliche, das Meer als das Ruhende hin, während bis dahin die 1792 aufgestellte Hypothese des Admirals Nordenankar, daß die Ostsee sich immer stärker durch ihre drei Pforten in die Nordsee entleere, ohne durch den Unterstrom den Defekt ausgeglichen zu erhalten, die meisten Anhänger gehabt hatte. J. F. W. Johnston (1798—1855) stellte sich auf denselben Standpunkt, den auch der Chemiker Berzelius einnahm: schrumpft die Erde zusammen, so muß mit diesem Prozesse eine

Umsetzung des Meerwassers Hand in Hand gehen, die hier zu einem Ansteigen, dort zu einem Sinken des Wasserspiegels führt, und die alten Strandlinien, die A. Bravais 1842 auf seiner norwegischen Reise beobachtet hatte, setzten diese Ungleichheit in der Höhe des Meeresniveaus außer Zweifel. Die Mehrzahl der Geologen hielt mit v. Buch dafür, daß das Festland an der einen Stelle sich aus dem Wasser hebe, auf einer anderen langsam in dieses hinabtauche. Die berühmten, in ihrem Mittelstücke von Pholaden zerfressenen Säulen des Serapeums von Pozzuoli, an welchen sich der Witz vieler Forscher, u. a. auch eines Goethe, bethätigt hatte, gaben ein gutes Argument für einen Wechsel ruckweise erfolgender Landhebungen und Landsenkungen ab.

Den Standpunkt, daß die meisten Oberflächenveränderungen durch langsame, stetig wirkende Agentien verursacht seien, vertrat entschieden und gewandt K. E. A. v. Hoff (1771—1837), dessen auf stupender Gelehrsamkeit aufgebautes Hauptwerk („Geschichte der durch Überlieferung nachgewiesenen Veränderungen der Erdoberfläche“ [mit den späteren Ergänzungen fünf Bände], Gotha 1822—1841) noch jetzt von keinem unbefragt bleibt, der sich die Aufgabe vorlegt, zu ermitteln, welche Physiognomie irgend ein Landstrich vor so und so langer Zeit gehabt habe. Lyell trat genau in v. Hoffs Fußstapfen, und man kann darthun, daß der eine vom anderen Manches empfangen, ihm jedoch auch Manches gegeben hat. Nunmehr fing man auch an, den von der „heroischen“ Richtung vernachlässigten Kraftäußerungen der Erosion und Denudation eine erhöhte Bedeutung beizumessen. Schon im 18. Jahrhundert hatten viele Autoren, Guettard, Targioni-Tonzetti, Nimrod, J. L. Heim u. a., die Thalbildung mit der Auswaschung durch fließendes Wasser in Verbindung gebracht, aber unter dem Einflusse der Hebungstheorie war man hiervon wieder abgekommen, um die Thäler, vornehmlich diejenigen, die angenähert senkrecht zur Streichungsrichtung der Gebirge stehen, ganz allgemein, und ohne zu individualisieren, als Spalten der Erdrinde aufzufassen. Bei v. Hoff tritt, noch einigermaßen schüchtern, die ältere Lehrmeinung wieder hervor, der dann auch K. A. Kühn (1783—1848), Murchison und, als eigentlicher

Bannerträger der wieder neu gewordenen, aktualistischen Theorie, Lyell beipflichteten. Daß bloß die Verwitterung das festeste Gestein aufzulösen und in Trümmerhaufen zu zerlegen befähigt sei, erkannte ganz richtig der für solche Denkweise überhaupt sehr empfängliche Goethe, als er im Jahre 1820 das Blockmeer der Luisenburg im Fichtelgebirge besuchte, worauf später (1838) J. R. Blum in Heidelberg ähnliche Gedanken über die Felsanhäufungen des Odenwaldes äußerte. Letzterer befaßte sich auch mit den chemischen Begleiterscheinungen des Verwitterungsprozesses, dessen gesamtes Wesen G. Bischof in seinem bekannten Werke für seine Zeit vorzüglich gekennzeichnet hat. Die Bodenkunde als einen Zweig der mechanisch-chemischen Geologie begründet zu haben, ist das Verdienst K. F. F. Sensts (1810 bis 1893), dessen ausgedehnte Schriftstellerei über verwandte Gegenstände mit 1847 anhebt. Anderweite Verwitterungs- und Auslaugungserscheinungen wurden durch Mitteilungen über charakteristische Lokalvorkommnisse dem wissenschaftlichen Interesse näher gebracht; so schrieben über die geologischen Orgeln oder Erdpfeifen der Umgebungen von Maastricht und Paris Brongniart, Cuvier, C. L. Mathieu (1756—?), J. B. M. Bory de St. Vincent (1780—1846) und J. Noeggerath (1788—1877), und die überwiegende Mehrzahl der Fachmänner sprach sich für eine auflösende Aktion der Tagewasser aus. Die Karrenfelder der Alpen beschrieb 1840 einläßlich F. Keller (1800—1881). So wurde man auf die Höhlen, die zumeist nur der Paläontologe und Prähistoriker wegen der dort vorgefundenen Knochen und primitiven Artefekte beachtet hatte, auch unter einem anderen Gesichtspunkte aufmerksam, und die bekannteren Bildungen dieser Art wurden von Ch. W. Ritter (1765— ?) in einem mehrbändigen Werke (Hamburg 1801—1806) beschrieben. Auch Fr. Hoffmann und Bory de St. Vincent trugen zur Aufklärung über die Bedingungen der Höhlenbildung bei. Noch weniger wußte man von den Eisgrotten und den ihnen verwandten Ventarolen, obwohl dieses Phänomen bei Scheuchzer und De Saussure keineswegs vernachlässigt ward. A. Pictet (1823) und F. Keller (1839) haben diesen speziellen Zweig der Höhlenkunde, wie man

sich in der Gegenwart ausdrücken würde, anerkennenswert zu fördern gesucht.

Die Morphologie sah sich in der ersten Hälfte des Jahrhunderts genötigt, auch der Mitwirkung der Organismen bei der Gestaltung der Oberfläche unseres Planeten erhöhte Beachtung zu schenken. Wohl wußte man auch früher, daß der Verkohlungsprozeß eine Metamorphose aus Pflanzen in Gestein bedinge, und Scheuchzer hatte dies schon 1706 mit aller Deutlichkeit ausgesprochen, aber Buckland, Kirwan, J. N. Fuchs u. a. stellten bis gegen die Mitte des Jahrhunderts hin dieser natürlichsten Erklärung eine ganze Reihe anderer Hypothesen entgegen. Die Torfmoorbildung behandelten durchaus rationell J. Rennie (1761—1821), A. v. Chamisso (1781—1838) und der Chemiker A. J. F. Wiegmann (1771—1853); die Bildung von Steinkohlenflötzen galt den vielen Geologen und Botanikern, die sich mit ihr beschäftigten, doch im wesentlichen geklärt, seitdem F. C. v. Beroldingen (1740—1798) sich zu Gunsten einer Entstehung dieser Lager an primärem Orte ausgesprochen hatte. Graf Sternberg freilich, Prévost und der Amerikaner J. B. Rogers erachteten eine Bildung der Flötze an sekundärer Stelle für wahrscheinlicher, indem sie annahmen, daß Baumstämme und andere Pflanzenteile durch Fluten in eine Senke hinabgespült worden seien, wo dann unter Wasser, und mit gänzlichem Luftabschluß, die langsame Verbrennung einsetzte. Unsere Generation glaubt sich überzeugt halten zu dürfen, daß beide Fälle vorkommen können. Den mikroskopischen Nachweis, daß man in den Kohlen die Natur der Pflanzen wiederzuerkennen vermag, aus denen sie sich gebildet haben, erbrachte 1848 Goeppert.

Daß die in oberflächlichen Erdschichten vorhandenen flüssigen und festen Kohlenwasserstoffverbindungen, die als Petroleum, Asphalt, Erdwachs u. s. w. in allen Aggregatzuständen auftreten, gleichfalls einen organogenen Ursprung hätten, ist jetzt die Ansicht der allermeisten Fachmänner, aber sie gehört eben auch erst der neuesten Zeit an. Zwischen 1800 und 1802 untersuchte v. Buch, im Auftrage des preußischen Bergministeriums, die Berglandschaften des Fürstentums Neuenburg auf das Vorkommen

nutzbarer Mineralien und studierte bei dieser Gelegenheit auch die berühmten Asphaltquellen des Val Travers. Was er dort gesehen, beeinflußte seinen berühmten Berliner Akademievortrag aus dem Jahre 1806, worin wohl zum erstenmale die Möglichkeit angedeutet wird, daß Bergtheer und ähnliche Bildungen „animalische Produkte" seien. Bestimmter leitete längere Zeit nachher Quenstedt das schwäbische Bitumen des Lias aus der Zersetzung petrifizierter Tierkörper her, während Bischof Asphalt und Steinöl einem vegetativen Verwesungsprozesse zuzuschreiben geneigt war.

In ganz anderem Sinne beteiligte sich, wie man durch Ehrenberg erfahren hatte, die niedere Tierwelt an der Felsbildung. Aber dieser Vorgang war als ein wenigstens für die Oberfläche der Erde abgeschlossener zu betrachten, und nur bei der Anhäufung und Verfestigung der Meeressedimente spielten noch immer erweislich Kalkschalen und Kieselpanzer eine nicht unwichtige Rolle. Und daneben konnte man im Meere und an den Küsten noch immer mit eigenen Augen zusehen, wie winzige Tierchen gewaltige Kalkbauten aufführten. Der Däne Forskål, Niebuhrs naturhistorischer Genosse auf der großen arabischen Expedition, hatte die Tiernatur der Korallen zuerst gemutmaßt, und J. R. Forster erklärte bestimmt, daß die „Lithophytenwürmer" die wahren Rifferbauer seien. Péron gab 1818 die erste Statistik der Koralleninseln, und v. Chamisso lieferte nach der Rückkehr von der ersten russischen Weltreise v. Kotzebues (1815—1818) treffende Bemerkungen über die Art und Weise des Baues, den er sich, gleichwie sein Schiffsgenosse J. F. Eschholtz (1793—1831), als von den Rücken unterseeischer Bergrücken ausgehend dachte. Über die, wie erwähnt, noch von Ehrenberg nicht genau gekannten Bedingungen, welche den Riffkorallen ihre Thätigkeit ermöglichen, gab 1825 J. R. C. Quoy (1790—1869) interessante Aufschlüsse. Alle vorhergehenden Arbeiten stellte jedoch Ch. Darwin in den Schatten, der sowohl in der Südsee, wie noch mehr auf den im Indischen Ozean gelegenen Keelings-Inseln den Entstehungsprozeß der Saumriffe, Barrièreriffe und Atolle mit scharfem Auge verfolgt hatte. Sein Epoche machendes Werk („The Structure and Distribution of Coral Reefs", London

1875; von Carus später verdeutscht) beherrschte diesen Teil der Geologie und physischen Geographie Jahrzehnte lang souverän, und als sich in den sechziger und siebziger Jahren Stimmen gegen die Hypothese erhoben, daß den verschiedenen Formen der madreporischen Bauten konsekutive Senkungen des Meeresbodens entsprächen, drang doch schließlich die ältere Doktrin wenigstens insofern sieghaft durch, als manche Vorkommnisse nur mit ihrer Hilfe befriedigend interpretiert werden können.

In dem der Geophysik gewidmeten Abschnitte war darauf hingewiesen worden, daß der Glazialphysik als jüngere Schwester auch eine Glazialgeologie erstanden sei. Sie entsprang aus dem schon im 18. Jahrhundert betriebenen Studium des Erratikums, jener ungeregelten Ausstreuungen von Gesteinstrümmern, die man sowohl im Alpenvorlande wie auch in der norddeutschen und sarmatischen Tiefebene antrifft, und deren Gesteinsbeschaffenheit auf eine ganz andere Heimat hinweist, als auf den im Augenblicke von ihnen eingenommenen Boden. Mineralogisch-geognostisch stellten diese Thatsachen J. Esmark (1763—1839), Playfair, Hausmann und vor allem v. Buch fest, der diese Geschiebeformation allenorts kartographisch festlegte und auf Grund genauer Vergleiche der märkischen Findlinge mit den ihm wohlbekannten Gesteinen Skandinaviens die Berliner Pflastersteine als „geborene Schweden“ ansprach. K. F. Wrede (1786—1826) hatte die Gesteinsblöcke des unteren Odergebietes noch für Abkömmlinge der schlesischen Gebirge gehalten. Wie nun aber kamen diese Geschiebe in die sekundäre Lage der Jetztzeit? De Luc hatte zu dem Ende vulkanische Eruptionskräfte herbeigezogen; v. Buch dagegen verhalf durch seine Autorität der Diluvialtheorie zur fast allseitigen Anerkennung. Aus allen meridional gerichteten Thälern der Alpen seien riesige Wasserströme hervorgebrochen, so etwa, wie man dies noch jetzt beim Durchbruche eines Stausees wahrnehmen kann, und diese hätten das Gesteinsmaterial an seinen jetzigen Ort getragen. Indessen ließ v. Buch dies nur für die subalpinen Gerölle gelten; für die Bildung des norddeutschen Diluviums bedauerte er keine ihm genügende Erklärung geben zu können, und dem Schweden G. Sefström trat er sogar scharf entgegen, weil dieser die Existenz

solch ungeheurer Diluvialströmungen — eben an ihrer Ungeheuerlichkeit nahm v. Buch Anstoß — auch im letzteren Falle postuliert hatte.

Schon 1809 hatte der phantasievolle Astronom Gruithuisen die kühne Idee ausgesprochen, es möchten wohl solche Ströme ganze Alpengletscher aus ihrem Bette gehoben und ins Flachland verfrachtet haben, wo dann der Gletscher geschmolzen, sein Moränengestein zu Boden gesunken sei. Ein nicht ganz kleines Körnchen Wahrheit ist in dem etwas sonderbar anmutenden und von der Mitwelt gänzlich unbeachtet gelassenen Gedanken doch enthalten; er birgt in sich den Keim sowohl der Glazial- als auch der Drifthypothese. Ungleich verständlicher trat erstere einige Jahre später vor das Publikum, als sich neben De Charpentier insbesondere der Walliser Ingenieur J. Venetz (1788—1859) der Frage bemächtigte. Es steht fest, daß letzterer durch den jeder wissenschaftlichen Erziehung ermangelnden Landmann und Gemsjäger Perraudin auf den richtigen Weg gebracht worden ist, denn dieser erzählte dem von ihm in den Bergen herumgeführten Venetz ganz harmlos, im Volke glaube man, daß die riesigen erratischen Blöcke, von denen ja das Unterwallis ganz ungewöhnliche Exemplare besitzt, von den ehedem weiter ausgedehnten Gletschern herabgetragen worden seien. Schon 1815 wurde der Naturforschenden Gesellschaft der Schweiz, die sich auf dem Großen St. Bernhard zusammengefunden hatte, eine entsprechende, viel Staub aufwirbelnde Mitteilung gemacht. Nächst Venetz griff das glaziale Prinzip mit Feuereifer besonders L. Agassiz auf, dem wieder seine Freunde Desor und K. F. Schimper zur Seite standen, und indem dieser feinsinnige Beobachter den Begriff des Erratikums im weitesten Sinne faßte und auch geschrammtes Gestein, Schliffe, geglättete Felsbuckel („Hammelfelsen“) als sichere Anzeichen dafür nachwies, daß einst ein Gletscher über diesen Erdraum hinweggegangen sei, ward er zum Begründer der folgenreichen Lehre von der Moränenlandschaft, deren Wesen, hiervon unabhängig, schon 1820 J. F. Weiß (1783—1825) im Bereiche der schwäbisch-bayerischen Hochebene bestimmt hatte. Selbstredend war die Herausbildung solcher Landschaftsform nur möglich, wenn da-

mals eine unverhältnismäßigere Gletscherentwicklung stattgefunden hatte; es mußte mithin auch die Hypothese einer Klimaschwankung zu Hilfe genommen werden, und seit 1837 war der von Schimper vorgeschlagene Name Eiszeit in aller Munde. Die konservativen Geologen hielten mit Widerspruch nicht zurück; v. Humboldt sowohl als v. Buch warnten ihren lieben Agassiz, sich doch ja nicht in Chimären zu verlieren; jener in feineren, dieser in etwas grobkörnigeren Worten. Allein bei dem jungen, thatkräftigen Schweizer war eine solche Warnung nicht angebracht; er machte vielmehr Reisen nach Großbritannien und hatte dort das Glück, einen Buckland, Sedgwick, Murchison, zuletzt (1840) auch seinen bisherigen Gegner Lyell auf seine Seite herüberzuziehen, weil eben auch in jenem Lande eine eiszeitliche Spur nach der anderen entdeckt wurde. Die weiteren Geschicke der Eiszeittheorieen müssen späterem Berichte vorbehalten bleiben; nur daran sei noch erinnert, daß im Jahre 1842 J. F. Adhémar (1797—1862) eine lebhafte Bewegung der Geister auslöste, indem er die Eiszeiten als für die beiden Erdhalbkugeln alternierend erklärte und ihren Grund in einer durch Verschiebung des Erdschwerpunktes bewirkten Eisansammlung erblickte, die sich von den Polen aus nach den gemäßigteren Breiten ausdehnen und dort eine mächtige Temperaturerniedrigung zuwege bringen sollte. Gab man dies zu, so war der Kataklysmentheorie der heroischen Epoche eine neue Stütze verliehen; die meisten Geologen hielten jedoch daran fest, daß der langsame Fortschritt und Rückgang der Gletscher recht gut zu der seit v. Buchs Hingang mehr und mehr Boden gewinnenden Lyellschen Anschauung stimme, deren Wesen, um A. Heims spätere glückliche Analogie zu zitieren, darin besteht, daß die Zeit aus den differentialen Wirkungen der geologischen Einzelkräfte nach und nach das Integral bildet.

So sehen wir um 1850 die Geologie an einem entscheidenden Wendepunkte stehen. Noch ließ in den meisten Kulturländern der Unterricht in dieser Wissenschaft namhafte Lücken erkennen; gab es doch noch kaum selbständige geologische Lehrstühle, und die — leider auch jetzt noch nicht überall beseitigte — Personalunion

zwischen Mineralogie und Geologie schädigte in der Regel die zweitgenannte Disziplin. Nur ausnahmsweise waren die Verhältnisse so günstig gelagert, wie in Heidelberg, wo, wie bemerkt, seit dem Jahre 1830 drei hervorragend tüchtige Fachgenossen, v. Leonhard, Blum und Bronn, das überaus nützlich wirkende „Jahrbuch für Mineralogie, Geologie, Geognosie und Petrefaktenkunde" herausgaben. Dasselbe gehört auch noch heute zu den geachtetsten Fachzeitschriften und gewährt auch in den älteren Jahrgängen, hauptsächlich der Referate wegen, eine Fülle von Belehrung. H. v. Meyer schuf 1846 die ebenfalls mit steigendem Erfolge ins 20. Jahrhundert sich fortsetzenden „Paläographica", und als gegen Ende der vierziger Jahre die Deutsche geologische Gesellschaft gegründet ward, der übrigens die Geological Society of England und die Société Géologique de France vorangegangen waren, rief sie gleichzeitig mit regelmäßigen Jahreszusammenkünften auch die treffliche „Zeitschrift" ins Leben, welche seitdem ein von ihr eingesetzter Ausschuß redigiert. An beiden Institutionen beteiligte sich noch eifrigst L. v. Buch in der Spanne Zeit, die dem greisen Altmeister noch zu wirken vergönnt war. Von den Anfängen geologischer Landesaufnahmen und Landesanstalten haben wir ebenfalls Kenntnis genommen. Kaum eine andere Naturwissenschaft braucht so notwendig, wie die Geologie, den organisierten Zusammenschluß, und unter diesem ihren Sieg verbürgenden Zeichen ist die jetzt schon innerlich gekräftigte Disziplin in eine neue Phase ihres Daseins eingetreten.

Elftes Kapitel.

Der große Umschwung in der naturwissenschaftlichen Prinzipienlehre.

Das 19. Jahrhundert stand, was die mit dem Begriffe der Kraft verbundenen Vorstellungen anlangt, wesentlich auf dem gleichen Standpunkte, den auch das 18. eingenommen hatte. Die Abwege, auf welche sonst tüchtige Männer während des naturphilosophischen Intermezzos geraten waren, konnten nicht vergessen sein, und auch philosophisch angelegte Köpfe schraken vor Spekulationen zurück, die man für metaphysisch hielt, während sie an und für sich, nur in der richtigen Weise und in stetem Einvernehmen mit der Erfahrung angestellt, gewiß auch ein Bürgerrecht in der exakten Naturwissenschaft beanspruchen durften. Wir werden bald erfahren, wie schwierig ein Ankämpfen gegen die reine Empirie wurde, wie der Lorbeer, den ein kühner Denker sich um die Stirne hätte winden sollen, für ihn zur Dornenkrone wurde. Und doch war es an der Zeit, das Wesen der Kraft neu zu präzisieren. Solange man ausschließlich innerhalb der Schranken der mechanischen Naturlehre verblieb, reichte man ja mit den Newtonschen Vorstellungen aus, und auch die unvermittelte Fernkraft ließ man ohne Bedenken zu, wenig berührt von der geschichtlich feststehenden Thatsache, daß die „Mathematischen Prinzipien der Naturphilosophie" vom Jahre 1687 die Fernkräfte nicht als etwas wirklich existierendes, sondern nur als eine plausible Annahme hingestellt hatten, deren man sich, um mit G. Kirchhoff

zu reden, solange beruhigt bedienen mochte, um die Naturerscheinungen genau zu beschreiben, als nicht ein Widerspruch mit der sinnenfälligen Wirklichkeit zu erkennen war. Fast aber schienen die neueren Fortschritte auf dem Gebiete der Elektrizität und des Magnetismus darauf hinzuweisen, daß man eine solche Korrektur an den überkommenen Grundsätzen werde anbringen müssen. Eine punktförmig ausstrahlende Kraft, deren Typus die allgemeine Schwere war, muß sich nämlich schon aus geometrischen Gründen derart in den Raum verbreiten, daß sich ihre Intensität im Verhältnis des Quadrates der Entfernung vom Kraftpunkte abschwächt; nun waren aber auch Attraktionen bekannt geworden, in deren zahlenmäßigem Ausdruck nicht immer die zweite, sondern auch die erste und sogar die dritte Potenz der Distanz den Nenner einnahm. Das ließ sich mit dem bis dahin für unfehlbar geltenden, im ganzen Weltenraume bestätigt gefundenen und von Coulomb auch zur Grundlage des Messens in der Lehre von den „Imponderabilien" erhobenen Newtonschen Gesetze nicht mehr vereinbaren. In der That ging denn auch von diesem Teile der Physik die Bewegung aus, welche einen ersten durchgreifenden Umschwung in der Prinzipienlehre herbeiführte, und bald folgte diesem ein zweiter, nicht minder nachhaltiger. Es konnte nicht fehlen, daß in unserem achten Abschnitte, der die Ausbildung der Experimentalphysik zu schildern hatte, einzelne Anklänge an die jetzt zur Besprechung gelangende, ereignisvolle und folgenreiche historische Epoche vorkamen; eine zusammenhängende Erzählung war jedoch damals nicht angängig, weil sie den fortlaufenden Bericht über die sozusagen sicht- und greifbaren Errungenschaften der physikalischen Forschung unmöglich gemacht haben würde, und um so gebotener mußte es deshalb erscheinen, nachträglich die mit Absicht übergangene Phase in der Entwicklungsgeschichte der Wissenschaft wieder aufzunehmen. Daß dieselbe sich bereits einigermaßen weiter in die zweite Hälfte des Jahrhunderts hinein erstreckt, ist nicht nur kein Nachteil, sondern sogar erwünscht, weil ja doch diese beiden Hälften innerlich und organisch aufs engste zusammenhängen, während die bisher grundsätzlich durchgeführte Scheidung nur durch — freilich zwingende — formale Rücksichten dem Berichterstatter auferlegt war.

Der Name Faraday, der zunächst im Vordergrunde unserer Darstellung stehen wird, ist uns kein neuer. Wir haben diesen Mann von einzigartiger, schier unvergleichlicher Genialität in der Physik und in der Chemie als einen Erfinder und Entdecker allerersten Ranges zu würdigen gehabt. Aber die spezifische Art seiner Genialität will uns dann, wenn wir nicht nur in seine thatsächlichen Leistungen, sondern auch in seine theoretischen Ansichten einen Einblick gewinnen wollen, als eine von allen Beispielen, die man heranzuziehen geneigt sein möchte, grundverschiedene erscheinen. Denn alle die Forscher, welche neuen Anschauungen über Materie und Bewegung zum Durchbruche verholfen haben, waren hohe mathematische Talente, deren Hauptstärke darin bestand, die natürlichen Geschehnisse in das abstrakte Gewand der Größenlehre zu kleiden und aus den so erhaltenen Resultaten das gesuchte Gesetz herauszulesen. Davon kann bei Faraday nicht die Rede sein; er hat nie, obwohl seine Denkweise ohne Frage eine höchst exakte war, konstruiert oder gerechnet, und seine Methode hat nichts gemein mit derjenigen seines großen Vorläufers Newton oder derjenigen der Gelehrten, welche seinen Ideengang in so fruchtbarer Weise fortführten und ausgestalteten, eines J. Clerk Maxwell (1831 bis 1879), Hermann v. Helmholtz (1821—1894) und Heinrich Rudolf Hertz (1857—1894). Am nächsten kommt in dieser Hinsicht, bezüglich der Energie reinen, nicht durch die Analysis gestärkten und geleiteten Nachdenkens über Naturvorgänge, dem englischen Meister der andere Held dieses Abschnittes, R. Mayer, allein dieser war weit davon entfernt, ein großer Experimentator zu sein, und ist auch nicht, wie Faraday, von dieser Seite her zu seinen Konzeptionen gekommen. Und noch in einer anderen Beziehung hat des letzteren Stellung in der Geschichte seiner Wissenschaft einen besonderen Charakter. Wer da weiß, wie häufig gerade in den Naturwissenschaften ein bedeutender Fortschritt dadurch erreicht wurde, daß ein glücklicher Forscher in dem vor ihm aufgeschlagenen Buche der Natur noch ein paar Seiten weiter blätterte, als ein ihm sonst vielleicht gleichwertiger Vorgänger, wer da weiß, wie oft bedeutsame Neuerungen gewissermaßen in der Luft liegen und dann beinahe gleichzeitig unter den verschiedensten

Gesichtspunkten angeregt werden, der entschließt sich schwer, zuzugeben, daß irgend ein neuer Gedanke nicht schon irgend einmal früher gedacht, daß er eine „proles sine matre creata“ sei. Bei Faraday müssen wir wohl oder übel dieses Zugeständnis machen. Gewiß ist der Ausgangspunkt, den er nahm, den Versuchen verwandt, welche Physiker und Philosophen des 18. und 19. Jahrhunderts vielfach machten, die Newtonsche Fernewirkung durch irgend eine direkte Kraftübertragung zu ersetzen; Versuche, deren Zweck und Anlage uns M. K. H. Isenkrahe (geb. 1844) in dem lesenswerten Buche „Das Rätsel der Schwerkraft“ (Braunschweig 1878) sehr gut auseinandergesetzt hat. Wie sich dieselben aber auch im übrigen untereinander unterscheiden mögen, das haben sie doch insgesamt gemein, daß sich der irgendwie vermittelte Anstoß in gerader Linie zwischen den beiden in Betracht kommenden Massenpunkten fortpflanzt, gerade wie sich schon Kepler das Anziehungszentrum mit dem angezogenen Körper durch unsichtbare magnetische Fühlfäden, die von ersterem ausgehen, verbunden dachte. Und Faradays Großthat besteht eben darin, daß er, wenn der bald verständlich werdende Ausdruck gestattet ist, mit dem Prinzipe der Geradlinigkeit ein für allemal gebrochen hat.

Nur einer darf, wie Rosenberger („Die moderne Entwicklung der elektrischen Prinzipien“, Leipzig 1898) zutreffend andeutet, als ein Pfadsucher und teilweise auch Pfadfinder im Faradayschen Sinne bezeichnet werden, und das ist Oersted, der Entdecker des Elektromagnetismus. Wo blieb die lineare Attraktion, wenn eine in den Stromring eingeschaltete, ursprünglich mit diesem in der Ebene des magnetischen Meridianes schwebende Nadel beim Eintritte des Stromes aus dieser Ebene abgelenkt wurde? Der elektrische Konflikt, so benannte Oersted die Einwirkung der strömenden Elektrizität auf den Magnetismus der Nadel, war offenbar nicht an eine bestimmte Richtung gebunden; er erfüllte vielmehr den ganzen umgebenden Raum und ging „in Kreisen fort“; wörtlich äußert sich der Entdecker wie folgt: „Es scheint ohne diese Annahme nicht zu begreifen zu sein, wie derselbe Teil des verbindenden Drahtes, der, unter den einen Pol der Magnetnadel gestellt, diese nach Westen treibt, sie nach Osten bewegen sollte, wenn er sich

über diesem Pole befindet.“ Oersted war ein Anhänger der von den Naturphilosophen aufgestellten, aber durch deren sonstiges Gebahren so ziemlich um allen Kredit gebrachten Meinung, daß sämtliche Naturkräfte nur verschiedene Äußerungsformen ein und derselben obersten Naturkraft seien, und hatte dieser Überzeugung in einigen Schriften, die jedoch keinen großen Leserkreis gefunden haben dürften („Ideen zu einer neuen Architektonik der Naturmetaphysik“, Berlin 1802; „Ansicht der chemischen Naturgesetze, durch die neueren Entdeckungen gewonnen“, ebenda 1812) Ausdruck verliehen. Die Drehung der Polarisationsebene dünkte ihm, der hier in der That einen prophetischen Blick bewährte, dafür zu sprechen, daß auch das Licht eine elektromagnetische Erscheinung sei.

Nun trat zu diesem neuen Erscheinungskomplexe die von Faraday entdeckte Induktion hinzu, und für deren Erklärung ließ die übliche Erklärungsweise noch mehr im Stiche. Zwei Drahtkreise standen nebeneinander, und wenn durch den einen der galvanische Strom hindurchgeschickt ward, so zeigte sich beim Schließen und Öffnen des letzteren ein vorübergehender Strom auch in dem zweiten Ringe, der, wie es hieß, in den elektrotonischen Zustand versetzt worden war. Mit dieser Namengebung war freilich für die Einsicht in den Hergang nichts gewonnen; gewiß befand sich der zweite Draht in einer Art von Spannung, die in den erwähnten Augenblicken sich in Bewegung umsetzte, aber der Bewegungsantrieb war nicht zu erkennen. Endlich, im Jahre 1832, trat Faraday mit einer Interpretation dieses Impulses hervor, und zwar hielt er sich zunächst an den großen Magneten Erde. Zwischen deren beiden Polen sei ein unendlich dichtes Bündel unsichtbarer und gegen den magnetischen Äquator hin immer weiter auseinander weichender Kurven ausgespannt, und diese Kraftlinien versetzen einen in ihrer Wirkungssphäre befindlichen Leiter selbst in den magnetischen Zustand. Was für die Erde galt, ließ sich unschwer auf jeden bipolaren Magneten übertragen. Schon Faraday bedient sich mit Vorliebe einer symbolisierenden Ausdrucksweise, welche von der Bewegung des fließenden Wassers herübergenommen ist, und Maxwell hat diese Terminologie, die dadurch eine sehr

verständliche und drastische wird, weiter ausgebildet. Wir glauben den kleinen Anachronismus ruhig begehen zu dürfen, daß wir auch hier schon, in der Skizzierung des Anfangsstadiums der betreffenden Lehren, die Ausdrücke verwenden, welche teilweise aus einer späteren Entwicklungsperiode stammen. Wir denken uns einen Stabmagneten mit den beiden Polen A und B. Bei A befinde sich die sogenannte Quellregion, aus der die magnetischen Kraftlinien hervortreten, um sich bald nach außen zu biegen und nun von allen Seiten her dem Punkte B, der Sinkstelle, zuzustreben; wälzt man den Magnetstab in Eisenfeilspänen, die nachher leicht erschüttert werden, um nicht allzu fest aneinander zu kleben, so kann man den Verlauf der Kraftlinien dem Auge ersichtlich machen. Da, wo sich dieselben am meisten zusammendrängen, wo durch den Normalquerschnitt die relativ größte Zahl von Kurvenindividuen hindurchgeht, wird, wie auch die gewöhnliche Erfahrung lehrt, die Magnetwirkung eine besonders kräftige sein, also nächst den Polen; am weitesten liegen die Kraftlinien da auseinander, wo ihre Berührenden der Stabachse ungefähr parallel verlaufen, und hier hat sich demgemäß eine Neutralitätszone herausgebildet. Der ganze Raum, innerhalb dessen die Kraft des Stabes sich stärker oder schwächer zu offenbaren vermag, wird dessen Magnetfeld genannt, und die Feldstärke ist, wie — in der Sprache der Meteorologie geredet — die ungleiche Größe des zu dem Liniensysteme gehörigen Gradienten, der kürzesten Entfernung zweier Nachbarlinien, ausweist, eine veränderliche. In einer gewissen Distanz wird natürlich diese Feldstärke zu Null. Diese Definitionen sind nun offenbar so beschaffen, daß man sie ungeändert beibehalten kann, wenn der Magnet durch einen Leitungsdraht ersetzt wird. Zunächst lag also für Faraday die Verpflichtung vor, zuzusehen, wie sich die verschiedenen, damals bekannten Arten der Elektrizität dem Magnetismus gegenüber verhielten, so daß also aus diesem analogen Verhalten auf ihre Wesensübereinstimmung geschlossen werden konnte. Er glaubte sich überzeugt halten zu dürfen, daß diese Identität auch wirklich vorliege. Im Jahre 1833 war er mit seinen Anschauungen noch mehr im reinen; die von ihm folgeweise in den „Philosophical Transactions“ veröffentlichten

„Experimentellen Untersuchungen“, auf deren unbeschreiblich hohen Wert von uns bereits hingewiesen werden mußte, lassen einen erfreulichen Einblick in den stufenweise erfolgenden Fortschritt der Erkenntnis thun. Chemische Affinität und Elektrizität werden als synonyme Begriffe definiert. Die Krümmung der Kraftlinien, die bisher nur eigentlich für den Magnetismus erhärtet war, bewies Faraday bei Versuchen über elektrostatische Influenz und Induktion im engeren Sinne in der Weise, daß er vor den elektrisch gemachten Körper einen Schirm aus leitendem Stoffe stellte. Ausdrücklich betont er, daß die Kraftlinien zunächst keine Realitäten, sondern nur Gedankendinge seien, um die thatsächliche Kraftrichtung als Normale einer solchen Kurve einfach ausgedrückt zu erhalten; Transversalkraft und Induktionskraft stehen aufeinander senkrecht. Aber das Dielektrikum, das nicht leitende Medium, über welches eine Betrachtung der Luftschicht zwischen elektrisch geladener Wolke und elektrisch geladenem Erdboden bei Gewittern Aufschluß giebt, ist auch nicht gleichgiltig, denn die Induktion versetzt dasselbe in Spannung, und in dieser Verfassung übt es auf die Art der Entladung seinen Einfluß aus. Erst 1846 sprach Faraday aus, daß auch das Dielektrikum einer Magnetisierung fähig sei, und zwar bewies er dies unwiderleglich durch die magnetische Drehung der Polarisationsebene des Lichtes, auf die ja auch schon Oersted angespielt hatte. Die Aufdeckung der Richtkräfte, welchen der Magnetismus in Krystallen unterliegt, vollendete das in den Grundzügen skizzierte Bild, und das Licht trat an vierter Stelle hinzu zu den bereits als gleich oder doch innigst verwandt nachgewiesenen Naturkräften des Magnetismus, der Elektrizität und des Chemismus. Nur die Gravitation wollte sich in den so gebildeten Rahmen nicht einfügen.

Wir haben gesehen, daß Faraday mit seinen Kraftlinien, über deren mathematische Natur er zunächst nicht nachzugrübeln geneigt war, nur als mit einem bequemen Auskunftsmittel operierte, um zu erfahren, welches für irgend einen Punkt des magnetisch-elektrischen Feldes die wahre Kraftrichtung sei. Erst 1852, nachdem über die ausgezeichnete Verwendbarkeit dieser Hilfsvorstellung längst kein Zweifel mehr bestehen konnte, ging er einen

Schritt weiter. Etwas Thatsächliches müsse doch in den Kraftlinien enthalten sein, weil man sie doch gestaltlich verändern, ablenken könne; läßt man etwa im obigen Eisenfeilichtbilde einen zweiten Magnetstab das Feld des zuerst vorhandenen stören, so sieht man, wie eine vollständige Umlagerung der Kraftlinien stattfindet, hervorgerufen durch den Umstand, daß jetzt mit zwei Quell- und mit zwei Sinkstellen gerechnet werden muß. Der große Physiker, unbekümmert um die Vorwürfe, die ihm etwa wegen seiner Emanzipation von dem landläufigen Ideenkreise gemacht werden konnten, beging das Wagnis, die Kraftlinien zu materialisieren. „Ich nehme," so lauten nach Rosenbergers Übertragung die Worte, mit denen er der alten Kraftphysik den Fehdehandschuh hinwarf, „den Magneten als ein Kraftzentrum, das von Kraftlinien umgeben ist, welche in ihrer Darstellung der Kraft durch die mathematische Analysis bestimmt sind, und ich halte dieselben als physikalische Linien für wesentlich, sowohl für das Sein der Kraft in dem Magneten, als auch auf die Fortpflanzung und Wirkung derselben außerhalb desselben." Er hätte ruhig beifügen dürfen: Wie soll man es sich zurecht legen, daß durch Aufstreuen leichter, der Anziehung unterworfener Körper Linien in plastischer Deutlichkeit zu Tage treten, deren Natur, wenn man sie etwa mit P. H. v. Zech (1828—1893) auf ein bipolares Koordinatensystem bezieht, eine mit der des Modelles auf dem Papierblatte vollkommen übereinstimmende Gleichung ergeben? Man kann sich, wenn man Faradays Art, die Natur zu befragen, mit jener vergleicht, die vor ihm ganz ungebrochen die Physik beherrschte, und die auch nach ihm noch weit davon entfernt war, sich für antiquiert zu halten, des Eindruckes nicht erwehren, daß der friedliebende, jeder Polemik gründlichst abgeneigte Mann als ein wirklicher Revolutionär auftrat, und wenn ihn sein Zeitalter zunächst noch nicht recht begriff, so darf man letzterem wohl keinen Vorwurf daraus machen, daß es in diese „Umwertung aller Werte" sich nicht ohne weiteres hineinfand. Wird doch sogar der stetige Raum selbst materialisiert, und nur dadurch konnte man, obwohl Faraday selbst dies als nebensächlich ansah, den Zusammenhang mit den bisherigen Vorstellungen teilweise retten, daß man die Kraftlinien, als die einzelnen

Partikeln des Lichtäthers untereinander verkettend, ins Reelle übersetzte. Noch war man ja nicht soweit, die Anzahl der dem Quadratcentimeter entsprechenden Kraftlinien direkt als Maß der elektrischen — beziehungsweise magnetischen, elektromagnetischen oder magnetelektrischen — Kraft zu definieren, wie sich dies in der Folgezeit als unerläßlich herausstellte, aber daß jene Linien mehr als eine bloße geometrische Fiktion seien, wurde doch auch schon einigen Zeitgenossen des Meisters einleuchtend. Der Raum wirkt nach Faraday bald als Isolator, bald als Leiter, was nicht denkbar wäre, wenn zwischen Materie und Kraft ein Unterschied bestände. Man kann die neue Theorie des Raumes und der Substanz, bei deren Aufstellung die berühmten, aber überaus abstrakten Untersuchungen aus O. F. Mossottis (1791—1863) Werke über Molekularkräfte (Turin 1836) einigen Einfluß ausgeübt zu haben scheinen, nicht eben als leichtverständlich bezeichnen, wiewohl derjenige, dem die älteren Streitigkeiten zwischen dynamischer und atomistischer Naturauffassung geläufig sind, manche Reminiszenz an die erstgenannte in sich aufleben sieht. Faraday wollte nicht in erster Linie eine neue Theorie begründen, sondern es kam ihm einzig darauf an, Erscheinungen, die seine Experimente an den Tag gebracht hatten, begreifbar zu machen. Was bei ihm, dessen Endzweck ja doch immer ein ganz anderer war, noch vermißt wird, haben seine Nachfolger ergänzt, unter denen Maxwell chronologisch wie sachlich an erster Stelle genannt werden muß. „Es trat," bemerkt Rosenberger, „der sonderbar gewendete Fall ein, daß die Faradayschen Anschauungen, welche die Experimentalphysiker nur als Aushilfen für Nichtmathematiker zulassen wollten, gerade von Mathematikern aufgenommen und als angemessenste Grundlagen für ihre Deduktionen nachgewiesen wurden."

Die ganze Zeitrichtung war eben doch für ein Hinausgehen über den traditionellen Kraftbegriff günstiger geworden. Die Einheit der Naturkräfte, bis vor kurzem von den Männern der exakten Denkart noch mit einigem Argwohn betrachtet, weil man an einen Rückfall in die vagen Hypothesenspiele der Naturphilosophen dachte, war einmal auf die wissenschaftliche Tagesordnung gesetzt und erhielt sich auf derselben. Bezeichnend ist, daß gegen Ende

der vierziger Jahre Arbeiten von zwei mit Recht geachteten Physikern, von G. Karsten (1820—1900) und von M. Gloesener (1794—1876), die Identität wenigstens der magnetischen und elektrischen Kraftäußerungen behandeln. Größere Pläne verfolgte W. R. Groves bedeutendes Werk „On the Correlation of Physical Forces“ (London 1847), welches auch in Übersetzung den Franzosen und Deutschen zu eigen wurde; eine selbständige, von weiten Gesichtspunkten getragene Leistung, in der selbstredend der noch fehlende Thatbeweis mehrfach durch den unvollständigen Induktions- und Analogieschluß ersetzt werden mußte. Wir wollen Groves Glaubensbekenntnis, wie es uns v. Schaper verdeutscht, wörtlich wiedergeben: „Mein Standpunkt ist, daß die verschiedenen Thätigkeitszustände der Materie, welche den Hauptgegenstand der Physik bilden, als Wärme, Licht, Elektrizität, Magnetismus, chemische Verwandtschaft und Bewegung, alle miteinander verwandt sind, d. h. in gegenseitiger Abhängigkeit voneinander stehen, so daß keine von ihnen, für sich allein betrachtet, als die wesentliche Ursache der anderen betrachtet werden kann, vielmehr eine jede von ihnen jede andere hervorzurufen oder in dieselbe sich zu verwandeln vermag.“ Die wissenschaftliche Sprache konnte sich vor fünfzig Jahren noch nicht jener Bestimmtheit und Bewegungsfähigkeit rühmen, die sie in unseren Tagen erlangt hat, und so mußte der Autor sich noch mancher Umschreibung bedienen, die allerdings bei genauerem Zuschauen seinen Gedankengang sinngerecht ausdrückt, eines Kommentares aber doch nicht ganz entbehren kann. Wenn Grove beispielsweise einen ruhenden Körper als ein Kraftmagazin charakterisieren will, der beim freien Falle diese potentielle Energie, wie jetzt der klare Ausdruck ist, in aktuelle Energie umsetzt, so spricht er von einer „Anwartschaft auf Bewegung“, die jenem Körper innewohne; schon weit früher (1644) hatte der Niederländer Deusing die Begriffe „actualis“ und „potentialis“ als zwei ausgesprochene Gegensätzlichkeiten nebeneinander gestellt. Mit den teilweise viel weiter vorgreifenden Ansichten über Kraft und Bewegung, die in Deutschland bereits ausgesprochen worden waren, war Grove, als er zuerst vor die Öffentlichkeit trat, noch nicht bekannt, und dies gereicht ihm umso weniger zum Vorwurfe, als selbst im Vaterlande



Robert Mayer

A. Weger sculps.

des Mannes, der eben eine neue Lehre verkündet hatte, derselben nur ein ganz geringes Verständnis entgegengebracht wurde. Dieser Mann war Robert Mayer, von dem ein fundamentales Gesetz aufgestellt ward, welches für die ganze Körperwelt gleichmäßig gilt. Es ist das Gesetz von der Erhaltung der Energie.

Die Unzerstörbarkeit des Stoffes war, wie wir gesehen haben, durch Lavoisier zum unverlierbaren Besitze der Naturlehre gemacht worden. Nicht das winzigste Stoffteilchen kann im Universum verloren gehen; nur den weitest gehenden Metamorphosen ist es unterworfen. Aber schon der Römer Lucretius hatte in seinem Lehrgedichte „Von der Natur der Dinge“ eben diesen Satz, den er ganz unzweideutig ausspricht — „könnte auch nur ein kleiner Teil des Urstoffes aus dem All entflieh'n?“ — noch weiter dahin ausgedehnt, daß auch die Summe aller Bewegungen unveränderlich sei. Das war ja zunächst noch ein vager Begriff, aber eine richtige Divination klingt doch in jenen Versen nach, um so auffallender, weil wir ihr bei einem Angehörigen des sonst nur über die konkretesten Dinge scharf nachdenkenden antiken Volkes begegnen. Die geistvolle Vorerkenntnis blieb isoliert; viele der besten Köpfe glaubten und glauben, falls nicht gehöriger Unterricht eine bessere Einsicht bewirkt hat, daß es möglich sein müsse, ein Perpetuum mobile herzustellen, eine Maschine, die, einmal in Bewegung gebracht, nun für alle Zeiten Arbeit leisten könne. Man sieht sofort ein, daß selbst die unvollkommene Fassung, in welcher Lucretius eine große Wahrheit ausspricht, die Hoffnung auf Herstellbarkeit eines solchen Apparates im Keime zerstört, denn dann wäre ja zu den Bewegungen, die bereits vorhanden sind, eine ganz neue, nicht aus jenen hervorgegangene hinzugefügt, und das ist ebenso unmöglich, wie daß eine solche verschwinden könnte. Viel Geist und technisches Geschick haben sich nutzlos bei der Bemühung um die Lösung des berüchtigten Problemes verzehrt, obwohl man schon verhältnismäßig frühe daran verzweifelte, eine solche zu erbringen. Im Jahre 1775 gab die Pariser Akademie, welche viel unter derartigen Zusendungen zu leiden hatte, die öffentliche Erklärung ab, sie werde von nun an kein Projekt für ein Perpetuum mobile mehr einer Prüfung unter-

ziehen. Aber der entscheidende Beweis für die Unmöglichkeit war noch nicht geführt und konnte dies auch erst werden, als eben das Prinzip, von dem wir oben sprachen, in seiner Bedeutung für die Mechanik erkannt war.

Julius Robert Mayer aus Heilbronn (25. November 1814 bis 20. März 1878) ist es gewesen, der die Bahn gebrochen und der Wissenschaft ein Mittel der Erkenntnis in die Hand gegeben hat, von dem man heute nur nicht begreift, daß es so lange entbehrt werden mußte, und daß auch ohne dasselbe, an welches jetzt eben ununterbrochen appelliert wird, so viele wichtige Resultate aufgefunden wurden. Das Leben des Denkers, dem wir einen so weittragenden Fortschritt auf der steilen Bahn zur Wahrheit verdanken, ist eine Verkettung tragischer Umstände und liefert den Beweis, daß recht oft im eigenen Lande und unter den eigenen Zeitgenossen der Prophet keine Geltung erringt. Mayer hatte Medizin studiert, und da er als junger Mann eine Stelle als Arzt auf einem Schiffe der niederländisch-indischen Kompagnie erhielt, so bot sich ihm willkommene Gelegenheit, sein Beobachtungstalent zu üben und zu schärfen. Den Anforderungen der damaligen Heilkunde gemäß mußte er häufig Blutentziehungen anwenden, und da fiel ihm auf, daß in tropischen Ländern das menschliche Blut eine andere, und zwar hellere Färbung hatte, als er dies zu Hause gesehen hatte. Gewiß eine sehr unscheinbare Veranlassung, aber sie genügte, um den über alle Vorkommnisse scharf nachdenkenden Mann auf den richtigen Weg zu bringen. Die von Th. W. Preyer (1841—1897) herausgegebenen Briefe, welche Mayer mit seinem Jugendfreunde, dem berühmten Kliniker W. Griesinger (1817 bis 1868), wechselte, lassen uns in das Innenleben des beginnenden Forschers einen tiefen Einblick thun. Wir vermögen fast genau das Datum zu fixieren, an welchem im Sommer 1840 dem gerade auf der Rede von Soerabaya auf Java weilenden, jungen Schiffsdoktor der „Gedankenblitz“ — so drückt er sich selbst aus — durch das Gehirn fuhr, der eine so nachhaltige Spur hinterlassen sollte. Ahnungsvoll schrieb er vier Jahre später diesem Freunde: „Jene Zeiten sind vorüber, aber die ruhige Prüfung dessen, was damals in mir auftauchte, hat mich gelehrt, daß es Wahrheit ist, die nicht

nur subjektiv gefühlt, sondern auch objektiv bewiesen werden kann; ob dies aber durch einen der Physik nur so wenig kundigen Mann wie mich geschehen könne, dies muß ich natürlich dahingestellt sein lassen. Kommen wird der Tag, das ist ganz gewiß, daß diese Wahrheiten zum Gemeingute der Wissenschaft werden." Der Tag ist auch gekommen, später freilich, als zu wünschen gewesen wäre, und Mayer hat dies ahnungsvoll vorausgesehen. Nur darin irrte er, daß er annahm, sein physikalisches Wissen werde ihn zur tieferen Begründung des klar vor seinem geistigen Auge stehenden Prinzips ungeeignet machen; das war nicht der Fall, wohl aber war er, als er mit seiner Entdeckung hervortrat, zu unbekannt und bei den berufsmäßigen Vertretern der Wissenschaft zu wenig akkreditiert, um eine günstige Aufnahme von Anschauungen erwarten zu dürfen, die grundstürzend zu sein schienen und es auch wirklich waren, deren tiefen Sinn zu erfassen damals wirklich nicht leicht gewesen sein muß. Mancher, dem sich die Bedeutung der Zeit in der Werdegeschichte der menschlichen Erkenntnis entzieht, lächelt wohl darüber, daß die namhaftesten Physiker der vierziger Jahre Dinge nicht begriffen, welche heutzutage jeder Schüler einer Mittelschule anstandslos versteht; er könnte mit demselben Rechte darüber lächeln, daß ein Schulknabe Rechnungen in einer Minute ausführt, zu deren Bewältigung Archimedes einen gewaltigen Apparat von Geisteskraft in Bewegung setzen mußte. Darin kennzeichnet sich eben die Weiterbildung der Forschungs- und Unterrichtsmethoden, und daß Mayers Darstellung seiner Ergebnisse zuerst methodisch den Gelehrten seiner Zeit nicht recht genügen konnte, werden wir bereitwillig einräumen dürfen, ohne dem Andenken des vielleicht originellsten aller deutschen Denker zu nahe zu treten.

Schon in Tübingen hatte derselbe Lavoisiers Theorie von der physiologischen Verbrennung eifrig studiert; die Nahrungsmittel unterliegen nach derselben im tierischen Körper einer langsamen Verbrennung, und die Folge derselben ist jene tierische Wärme, die im normal-gesunden Zustande nur zwischen nicht sehr weit auseinanderliegenden Grenzen schwanken darf. Je mehr Wärme der Körper nach außen abgiebt, desto intensiver muß die innere Verbrennung unterhalten werden. In der heißen Tropen-

region ist die Wärmeabgabe ganz von selbst herabgesetzt, und folglich darf oder muß auch die mit der Assimilierung der Speisen verbundene Wärmeentwicklung eine geringere sein. Je größer letztere ist, um so größer wird auch der Unterschied in der Farbe des arteriellen und des venösen Blutes sein; unter den Tropen ist, wie eben die unmittelbare Beobachtung bei Aderlässen gezeigt hatte, der Farbenunterschied geringer, und daraus läßt sich ein Schluß auf die internen Metamorphosen ziehen, die mit größerer Trägheit vor sich gehen. Gewiß ein unscheinbarer Anlaß zur Gewinnung des denkbar allgemeinsten Gesichtspunktes, so unscheinbar, wie jener, der Newton zur Konzeption des Gravitationsbegriffs führte, als er den Apfel vom Baume herabfallen sah! Wie kommt es, fragte Mayer, daß der Verbrennungsprozeß, obschon er also unter verschiedenen Umständen auch ein verschieden großes Maß von Wärme erzeugt, gleichwohl immer gleichmäßig im Gange erhalten wird? Sollte dies nicht daher kommen, daß es auch noch anderweite Wärmequellen im Körper giebt. Eine solche ist die körperliche Arbeit; je mehr ein Mensch physische Kraft verbraucht, um so nachdrücklicher muß er durch Nahrungszufuhr die Verbrennung aufrecht erhalten, und darum ist durchweg das Ernährungsbedürfnis in kalten Gegenden gegenüber demjenigen in warmen gesteigert. „Denn wenn je nach der verschiedenen Konstruktion der zur Wärmegewinnung dienenden mechanischen Vorrichtungen u. dgl. durch die nämliche Arbeit und bei gleich bleibendem organischem Verbrennungsprozesse verschieden große Wärmemengen erzielt werden könnten, so würde ja die produzierte Wärme bei ein und demselben Materialverbrauche bald kleiner, bald größer ausfallen können, was gegen die Annahme ist.“ In diesen Worten ist für uns, die wir eben mit dem Sachverhalte genau bekannt sind, das Prinzip von der Äquivalenz der Wärme und der Arbeit freilich schon ganz klar ausgesprochen, aber daß die zeitgenössischen Physiker, welche so strenge wie möglich zwischen anorganischer und organischer Körperwelt unterschieden und, wie der neunte Abschnitt ausführte, die Physiologie noch wesentlich auf der Hypothese von der „Lebenskraft“ aufgebaut wähnten, für ihre Wissenschaft keine Hilfe von einer anderen, an Exaktheit vermeintlich tiefer stehenden erwarteten, begreift sich leicht.

Im Jahre 1842 war Mayer so weit, seine Gedanken zu einem kleinen Aufsatze verdichtet zu haben, den er „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur“ betitelte. Derselbe hatte kein Glück, denn Poggendorff, der Herausgeber der — damals wie noch jetzt — geachtetsten physikalischen Zeitschrift, lehnte die Aufnahme ab, weil jener keine experimentellen Belege enthalte. Man hat dem verdienstvollen Physiker seine Verkennung einer wahrhaft bedeutenden Leistung zum argen Vorwurfe gemacht und dabei über das Ziel hinausgeschossen. Es ist ja richtig: Poggendorff hat nicht erkannt, daß man es hier mit einem providentiellen Geiste zu thun habe; es kann ihm nicht nachgerühmt werden, daß er so weitsichtig gewesen sei, „ex ungue leonem“ zu diagnostizieren. Allein eben dieses war nötig, wenn man aus jener frühesten Niederschrift schon die Fülle des Geistes erschließen sollte, der den Verfasser durchströmte, und wir unsererseits möchten auf den geplagten, mit Material überhäuften Redakteur deshalb keinen Stein werfen, weil er kein Hellseher war und das unscheinbare Manuskript eines unbekannten, nicht der Gilde angehörigen Schriftstellers nicht so genau prüfte, wie es dasselbe verdient hätte. Liebig und Woehler machten den von ihrem physikalischen Kollegen begangenen Fehler dadurch gut, daß sie die Mayersche Abhandlung in ihren „Annalen“ zum Abdruck brachten, wo sie sich freilich auch fremdartig ausnimmt, und wo sie auch nicht viel beachtet wurde. So schwebte von Anbeginn an ein gewisser Unstern über den neuen Ideen. Gewiß ist auch dieser erste Versuch ein dankens- und lesenswerter, aber jene Periode war wenig dazu angethan, ihn zu würdigen. Mit Faraday, von dem er aber kaum etwas wußte, kommt Mayer darin überein, daß er den Begriff Kraft völlig neu zu formulieren bestrebt ist und die älteren Definitionen für ganz unzureichend erklärt. Bewegung ist durch eine Kraft hervorgerufen worden, hört aber nach einiger Zeit auf; was ist dann aus der auslösenden Kraft geworden, ist diese ebenfalls verschwunden? „Zu Nichts kann die Bewegung nicht geworden sein, und entgegengesetzte oder positive und negative Bewegungen können nicht gleich Null gesetzt werden, so wenig aus Null entgegengesetzte Bewegungen entstehen können oder eine Last sich von selbst heben

kann." Die Bewegung verschwindet mithin nur scheinbar; sie setzt sich in Wärme um, welche ja, wie schon früher geahnt worden war, nichts als lebhafteste Bewegung der Korpuskeln ist. Außerordentlich durchsichtig für uns Epigonen, aber schwerlich sehr überzeugend für einen Physiker älterer Ordnung ist folgender Satz Mayers: „Die Lokomotive mit ihrem Konvoi ist einem Destillierapparate zu vergleichen; die unter dem Kessel angebrachte Wärme geht in Bewegung über, und diese setzt sich wieder an den Achsen der Räder als Wärme in Menge ab."

Wir erinnern uns, daß in der Einleitung Graf Rumford als derjenige genannt wurde, der bei Bohrversuchen eine Erhitzung des den Bohrer umschließenden Wassers wahrgenommen und für diese Temperaturerhöhung den Bewegungsakt selbst verantwortlich gemacht hatte. Der amerikanische Mechaniker befand sich also völlig auf dem rechten, zu Mayers Entdeckung führenden Wege, wenn er auch zunächst seinen Versuch nur als einen schlagenden Beweis gegen die Existenz eines Wärmestoffes, zu gunsten der bis dahin nur schüchtern angedeuteten Immaterialität der Wärme, verwertet wissen wollte. Noch im alten Jahrhundert (1799) hatte Davys schon erwähnte Schrift „An Essay on Heat, Light and the Combinations of Light" die Experimente Rumfords erneuter Erörterung unterworfen, indem zugleich jene mannigfach variiert wurden. Auch Th. Young schloß sich dieser Identifizierung von Wärme und Bewegung an, aber obwohl also drei ganz hervorragende Männer in dieser Anschauung übereinstimmten, vermochte dieselbe doch keinen Boden zu gewinnen, und wir erfahren eben jetzt, daß es Mayer nicht besser ging, als auch er den berühmten, von ihm kaum näher gekannten Vorgängern folgte.

Denselben Plan betraten mit unserem Landsmanne nahe gleichzeitig auch zwei auswärtige Forscher, der Däne L. A. Colding (1815—1888) und der Engländer J. P. Joule (1818—1889), und zwar ging der erstgenannte von Mayer wenig verschieden, der praktische Brite dagegen, dessen Vermögensumstände ihn dazu in hohem Maße befähigten, mit umfassenden Versuchen vor. Die Umwandlung der Kräfte war für Colding der leitende Grundsatz, und wenn die Kraft umwandelbar war, mußte die Wärme,

die immer dann auftritt, wenn eine Bewegung zum Stillstande gebracht wird, als Ersatz der Kraft, also als eine neue Art von Kraft, definiert werden. Schon im 13. Jahrhundert hatte Thomas Aquinas auf die Frage, weshalb die bleiernen Pfeilspitzen, die das Ziel getroffen, von kleinen Klümpchen des geschmolzenen Metalles umgeben seien, die Antwort gegeben, daran sei die große Erhitzung schuld, welche in dem jäh aus schneller Bewegung in absolute Ruhe versetzten Geschoßkörper eintrete. Die Experimente Oersteds, Dulongs und vor allem Rumfords glaubte Colding als Bestätigungen seiner Auffassung des Wesens der Wärme heranziehen zu dürfen. Die Priorität steht, wie man sieht, unbedingt Mayer zu, aber mit einer ersten Bestrebung, den Äquivalenzsatz auch erfahrungsmäßig zu erhärten, ist andererseits Colding vorangegangen. Ohne schon völlig klar über die beste Begriffsbestimmung der Arbeitsgröße zu sein, stellte er doch messende Versuche an, aus denen zu schließen war, daß eine Temperaturerhöhung um 1° des hundertteiligen Thermometers, modern gesprochen, einer Arbeitsleistung von 350 Meterkilogramm die Wage halte. Das ist sehr ungenau, aber als erste Probe auf ein schwieriges Exempel mag man es immer gelten lassen. Mayer war um diese Zeit noch nicht zu quantitativen Bestimmungen fortgeschritten, vielmehr beschäftigte er sich noch mit einem zwar primitiven, aber doch sinnreichen Beweise dafür, daß überhaupt aus Bewegung Wärme hervorgeht. Es wird erzählt, er habe dem Professor der Physik an einer seinem Wohnorte benachbarten Hochschule seinen Gedankengang vorgelegt, von diesem aber den üblichen ablehnenden Bescheid erhalten; wäre das wahr, so habe jener entgegengehalten, dann müßte ja Wasser, in einem Gefäße geschüttelt, erwärmt werden. Mayer sei darauf sinnend heimgekehrt, habe sich überzeugt, daß es mit dieser Erwärmung seine Richtigkeit habe, was allerdings aus Rumfords Beobachtungen ganz von selber folgte, und sei einige Wochen darauf in das Studierzimmer des erwähnten Bekannten mit dem Freudenrufe eingetreten: „Es ischt so!“ Eine präzisere Berechnung der Arbeitsmenge, des Produktes aus dem Gewichte des bewegten Körpers in den zurückgelegten Weg, welche als mechanisches Wärmeäquivalent zu gelten hat, bahnte im

gleichen Jahre 1843 Joule an, indem er der in der irländischen Stadt Cork tagenden, für die Ausbreitung naturwissenschaftlicher Anregungen und Kenntnisse von je segensreich wirkenden britischen Naturforscherversammlung („British Association for the Advancement of Sciences“) eine wertvolle Note vorlegte. Auf dem von ihm vorgezeichneten Wege ist man seitdem rüstig vorwärtsgegangen.

In einem mit Wasser gefüllten Gefäße befand sich eine Rotationsvorrichtung, bestehend aus einer Metallachse mit senkrecht aufgesetzten Seitenflügeln, an deren Enden Platten angesetzt waren, um den Widerstand der Flüssigkeit möglichst zu verstärken. Die Hülse der Achse wurde durch einen Schnurlauf in rasche Umdrehung versetzt, und gleichzeitig wickelten sich auf den horizontalen Ansätzen Schnüre auf, an denen Gewichte hingen. So war man in der Lage, die Hubarbeit zu messen, welche durch eine gegebene Umdrehungsgeschwindigkeit geleistet ward, und das eingefügte Thermometer gab gleichzeitig an, wie groß die entsprechende Steigerung der Temperatur ausfiel. Joule variierte seine Versuchsreihen überaus geschickt, erhielt aber zunächst noch Zahlen für das Wärmeäquivalent, die nicht gehörig untereinander stimmten; die Form, von der wir vorstehend sprachen, ist eine, auf die er erst später verfiel, die ihm aber besonders zuverlässige Werte zu versprechen schien. Im Jahre 1849 teilte er der Royal Society diese neuen Resultate mit, deren Quintessenz sich dahin zusammenfassen läßt: Der numerische Betrag der Arbeitsleistung, die ausreichend und notwendig ist, um die Kubikeinheit reinen Wassers von 0° C. auf 1° C. zu erhöhen, liegt, in Fußpfund ausgedrückt, zwischen 773 und 775. Es sei einschaltend bemerkt, daß man jetzt auch bald den bis dahin schwankenden Ausdruck Pferdekraft, von dem die Maschinenkunde Gebrauch machte, auf eine exakte Definition zurückführte. J. Watt (1736—1819), der Erfinder der verbesserten Dampfmaschine, hatte einem Besteller versichert, er wolle ihm eine Maschine liefern, deren Arbeitsleistung „derjenigen von zehn Pferden“ gleichkomme. Indem man Watts Angaben den neu gewonnenen Ansichten gemäß bestimmter faßte, gelangte man dazu, als eine Pferdestärke dasjenige Arbeitsmaß zu

bezeichnen, welches 550 Fußpfunden pro Sekunde entspricht. In neuerer Zeit wurde eine Übereinkunft dahin getroffen, daß dafür 100 Sekundenmeterkilogramm gesetzt werden.

In der praktischen Ausnützung des Äquivalenzprinzipes hatte sich, wie das ja nur verständlich ist, Deutschland vom Auslande überflügeln lassen müssen, aber in der theoretischen Durchbildung des aus seiner Initiative hervorgegangenen Vorstellungskomplexes blieb Mayer obenauf. Im Jahre 1845 ließ er seinem ersten litterarischen Versuche, dessen Keime auf steiniges Erdreich gefallen waren, einen zweiten, weit gereifteren nachfolgen, allein bedauerlicherweise vergriff er, dem nichts ferner als eine auch erlaubte Reklame lag, sich wiederum in der Wahl des Titels seiner Schrift („Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel“, Heilbronn 1845). Konnte man es dem Physiker verübeln, wenn er, durch diese ganz unzweckmäßige Aufschrift irre geleitet, eine Arbeit, die ganz und gar der Physiologie anzugehören schien, beiseite liegen ließ? Und doch ist gerade diese Arbeit, wohl die bedeutendste, die Mayers Feder entsprang, von fundamentaler Tragweite für die gesamte Naturwissenschaft, nicht etwa nur für deren organologische Partien. An die Spitze stellt er das Axiom, daß es nur eine einzige Kraft giebt, über deren Erschaffung und Vernichtung der Mensch sich niemals ein Urteil bilden könne, während er andererseits dazu berufen sei, die Veränderungen und Umsetzungen dieser Kraft zu studieren. Damit dies aber geschehen könne, müsse man sich über eine einfache, jederzeit erkennbare Festsetzung einer Normalkraft verständigen, und dazu eigne sich allein die Fallkraft, bezüglich deren schon im vergangenen Jahrhundert ein exaktes Maß ermittelt worden sei. Dies ist die aus den Darlegungen und Streitigkeiten eines Leibniz, Joh. Bernoulli, d'Alembert, Kant, Voltaire u. a. über die richtige Schätzung der lebendigen Kraft bekannte Größe, welche man erhält, wenn man die halbe Masse des frei fallenden Körpers mit dem Quadrate der erreichten Endgeschwindigkeit multipliziert, und diese lebendige Kraft ist nur ein anderer Ausdruck für den neuen Begriff der mechanischen Arbeit. Eine solche leistet aber, wie jede durch Heizung in Betrieb gesetzte Maschine beweist, auch die Wärme,

und es muß deshalb möglich sein, diese auf das gleiche Maßsystem zu beziehen. Mit etwas abweichenden Hilfsmitteln tritt nun auch Mayer an die von Colding — ohne des ersteren Wissen — gelöste Aufgabe heran, das Äquivalent numerisch zu bestimmen; er hält sich dabei an die im achten Abschnitte berührten Versuche Dulongs, an deren Ergebnis er später die von Regnault ermittelte Korrektur anbringt, und findet so, daß eine Wärmeeinheit oder Kalorie, gegeben durch die Wärmemenge, welche der metrischen Gewichtseinheit destillierten Wassers eine Temperaturerhöhung von 1° zuführt, imstande ist, ein kg um 425 m oder 425 kg um 1 m zu heben. In die Einheit, welche so zwischen Bewegung, Fallkraft und Wärme hergestellt ist, müssen sich nun auch die anscheinend selbständigen übrigen Kräfte, mit denen es die Physik und Chemie zu thun haben, irgendwie einordnen lassen, wenn auch die Wissenschaft einstweilen noch nicht so weit ist, dieser Forderung in jedem Einzelfalle gerecht werden zu können. Speziell für Reibungselektrizität, Magnetismus und chemische Wirkung wird aber auch bereits der Zusammenhang nachzuweisen versucht. Verbindet man beispielsweise 1 g Wasserstoff mit 8 g Sauerstoff, so resultiert eine Verbrennungswärme, deren mechanischer Effekt hinreichen würde, um einen Körper von 2 g Gewicht aus unendlicher Entfernung durch den freien Fall zur Erde niederzuziehen. Wer mit der seitdem herrschend gewordenen Terminologie vertraut geworden ist, sieht sofort, daß er dem Begriffe des Potentiales, einer besonderen Modifikation des allgemeinen Arbeitsbegriffes, gegenübersteht. Wie ungemein folgenreich aber dieser Begriff, den in völliger Unabhängigkeit Green und Gauß, der erstgenannte zu Ende der zwanziger, der andere zu Ende der dreißiger Jahre, eingeführt hatten, für das weite Gebiet der angewandten Mathematik geworden ist, dessen haben wir uns schon im dritten Abschnitte vergewissert. Im weiteren Verlaufe seines Textes geht Mayer auch auf das pflanzliche und tierische Leben ein und thut überzeugend dar, daß alle Lebensprozesse in der Sonnenwärme ihren Urgrund haben, und daß Verdunkelung des Zentralgestirnes mit Tod und Erstarrung für die Planeten verbunden sei. Diesen letzteren Gedanken hat der Autor sodann in einem zweiten, drei

Jahre später publizierten Schriftchen noch weiter ausgeführt, in welcher die „Dynamik des Himmels“ den Behandlungsgegenstand bildet. Hier wird u. a. die Frage nach der Ursache der Dauer der Sonnenwärme zur Beratung gestellt. An und für sich müßte ja die Wärmeenergie des Sonnenkörpers, möchte sie auch, als sein Verdichtungszustand abgeschlossen war, eine noch so ungeheuere gewesen sein, endlich einem Zustande der Erschöpfung entgegengehen, und da wir von solcher nichts bemerken, da auch die genauesten Messungen des Sonnendurchmessers keine Verkleinerung desselben wahrnehmen lassen, so bliebe nur übrig, anzunehmen, daß unaufhörlich dicht gefügte Schwärme fein verteilter kosmischer Materie der Sonne zuströmten, sie mit neuem Brennstoffe versorgend. Die keck hingeworfene Hypothese hat nachmals zu umfassenden Diskussionen Anlaß gegeben.

Mit dem Jahre 1848 hat R. Mayers bahnbrechende Schriftstellerthätigkeit ihr Ende erreicht. Er hat noch mehrmals die Feder und bei wissenschaftlichen Kongressen auch das Wort ergriffen, und was von ihm ausging, war stets geistreich und anregend, aber wirklich hervorstechende, seinen ersten Veröffentlichungen gleichwertige Leistungen wurden, wie seine gesammelten Abhandlungen („Die Mechanik der Wärme“, Stuttgart 1874) bequem überblicken lassen, zu denjenigen der vierziger Jahre nicht mehr hinzugefügt. Ein gewisser Nachlaß in seiner Produktionskraft war eingetreten; nur allzu natürlich angesichts der schweren Schicksalsschläge, welche den trefflichen Mann trafen und eben nach seinem Gesetze, das er in dem hübschen Aufsätzchen „Über Auslösung“ (1876) auch auf die Welt des Bewußtseins und der Empfindungen ausdehnen wollte, ihn der Spannkraft von früher berauben mußten. Sein Los gehört so sehr zur damaligen Zeitgeschichte der Naturwissenschaft, daß wir von der Pflicht, die Lebensgeschicke Mayers zu beleuchten, nicht Abstand nehmen dürfen. Wir wissen bereits, daß die Fachwelt seinen Offenbarungen, die in ungewöhnlicher Form an jene herangebracht wurden, mit kühlster Reserve gegenüberstand, und, was schlimmer, wir müssen weiter bekennen, daß man ihm sogar das Recht bestritt, auf die Begründung der Lehre vom mechanischen Äquivalente der

Wärme Ansprüche geltend machen zu dürfen. Joule gab 1847 der Pariser Akademie Nachricht von seiner oben erwähnten zahlenmäßigen Bestimmung des Äquivalenzwertes, und als nun Mayer sein Entdeckerrecht wahrte, ging weder der Engländer, noch auch die Akademie auf seine Reklamation ein. Auch mußte es ihn kränken, daß ein junger Gelehrter, der um dieselbe Zeit mit einer den mathematischen Charakter tragenden Untersuchung über die Erhaltung der Kraft hervortrat, zwar vieler englischer, französischer und deutscher, nicht aber des Mannes Erwähnung that, der eben doch, mag man die anderen Verdienste noch so hoch bewerten, zuerst den Nagel auf den Kopf getroffen hatte. Allein noch war Mayers Leidenskelch nicht geleert. Ein jüngerer Physiker, E. J. O. Seyffer (geb. 1823), der zwar Verfasser eines ganz tüchtigen Werkes über den Galvanismus war, es gleichwohl aber doch vorzüglich seinem etwas herostratischen Vorgehen gegen den unbequemen schwäbischen Landsmann zu danken hat, daß sein Name noch häufig zitiert wird, richtete gegen jenen einen ebenso schweren als ungerechten Angriff, und der Angegriffene konnte kein litterarisches Forum finden, um sich zu rechtfertigen. Die Spalten der Organe, an die er sich um Aufnahme seiner Antikritik wandte, blieben ihm verschlossen, und vor der Welt im Rechte blieb dafür der sich sehr überlegen dünkende Rezensent, dessen Polemik gegen den Satz, Wärme sei nur eine andere Form der Bewegung, sich durch eine deshalb textuell zu wiederholende Stelle genugsam kennzeichnet. Seyffer gab gönnerhaft zu, daß man bei richtiger Deutung mit dem Satze schon einigen Sinn verbinden könne, und fuhr dann fort: „So, wie sich aber Herr Mayer den Satz denkt, daß eine wirkliche Metamorphosierung zwischen Wärme und Bewegung stattfinde, ist es ein vollkommen unwissenschaftliches, allen klaren Ansichten über die Naturthätigkeit widersprechendes Paradoxon . . .“ Sapienti sat! Auf den unglücklichen Mann, dessen große Entdeckung man ihm auf der einen Seite abdisputieren, auf der anderen dagegen lächerlich machen wollte, stürmten zu gleicher Zeit auch noch die traurigsten häuslichen Ereignisse ein, und unter dem Drucke all des Schweren, das ihm auferlegt war, brach der starke Geist zusammen. Mayer verfiel in Melancholie, in wirk-

lichen Wahnsinn, und die veraltete Zwangsmethode, welche subalterne Heilkünstler gegen ihn anwandten, schien seinen Zustand zu einem hoffnungslosen zu machen. Die gute Natur des von Hause aus urgesunden und nur durch eine erdrückende Konkurrenz von Widrigkeiten vorübergehend erschütterten Mannes trug zwar den Sieg davon, aber ganz der alte ist er immerhin nicht wieder geworden. In richtiger Würdigung der Symptome begab sich der erfahrene Arzt, wenn er nachmals die Vorboten heftiger Nervenerregung wahrnahm, selbst in eine zuverlässige Heilanstalt, die ihn dann nach einiger Zeit wieder geheilt entließ, und in den langen Pausen zwischen solchen Anfällen konnte er ziemlich ungestört der medizinischen Praxis und der wissenschaftlichen Thätigkeit obliegen. Zu der allerdings nur relativen Gesundung, welche sich allmählich wieder einstellte, trug immerhin erheblich bei, daß schließlich doch die historische Wahrheit durchdrang und dem Entdecker die lange vorenthaltene Anerkennung in immer reichlicherem Ausmaße gezollt zu werden begann. Ehe es jedoch so weit gekommen war, mußten noch manche Perioden ganz anderen Gepräges überwunden, mußte noch manche Lanze für das verkannte Verdienst gebrochen werden.

Der vorhin genannte, noch sehr junge Gelehrte, der Mayer in seinem eigenen Vaterlande eine gefährliche Konkurrenz machte, war kein anderer als L. F. Hermann Helmholtz. In der Berliner Pepinière ausgebildet, hatte der angehende Militärarzt in Magnus' Laboratorium auch tiefgehende experimentelle Studien getrieben und eine feine Untersuchung über Blutgase angestellt. Wesentlich beteiligt bei der Gründung der Physikalischen Gesellschaft, hielt er dieser am 23. Juli 1847 einen Vortrag „Über die Erhaltung der Kraft", der dann als als Broschüre im Buchhandel erschien. Erwähntermaßen stützt sich Helmholtz mit der den künftigen berühmten Mathematiker charakterisierenden Vorliebe auf analytische Betrachtungen, die aber doch auch stets am passenden Orte von philosophischem Raisonnement abgelöst werden. Die Grundannahme, von welcher er ausgeht, ist die, daß es unmöglich sei, „durch irgend eine Kombination von Naturkörpern bewegende Kraft fortdauernd aus Nichts zu erschaffen". Auch Helmholtz läßt sich mithin, wie er dies auch näher ausführt, durch bewußte Gegner-

schaft gegen das Perpetuum mobile leiten. Weiterhin unterscheidet er zwischen Spannkräften und lebendigen Kräften; es ist dieselbe Antithese, welche sich in der modernen Naturlehre in den Worten „potentielle“ und „aktuelle“ Energie ausspricht. Die Summe aller vorhandenen Kräfte beider Arten muß stets konstant sein; das Maximum der überhaupt zu gewinnenden Arbeitsgröße ist etwas bestimmtes, endliches, wenn die anziehenden Kräfte, ebenso wie die abstoßenden, von Zeit und Geschwindigkeit unabhängig sind. Die Kraftkonstanz bewährt sich bei allen durch Gravitationskräfte beeinflußten Bewegungen, bei Übertragung von Bewegungen durch inkompressible Media und bei Bewegungen vollkommen elastischer Körper. Weder beim Stoße unelastischer Körper, noch auch bei der Reibung sind faktische Kraftverluste anzunehmen; im ersteren Falle ist eine in Formveränderung zum Ausdruck kommende Vermehrung der Spannkräfte in Verbindung mit Wärmeentwicklung und akustischer Lufterschütterung zu konstatieren, wogegen bei der Reibung oberflächliche Verschiebungen in den den Reibungsflächen benachbarten Schichten nebst Auslösung von Wärme und Elektrizität Platz greifen. Auch für die elektrischen Agentien wird ein Kraftäquivalent auszumitteln gesucht.

Daß die Helmholtzsche Schrift von Mayers etwas früheren und dem gleichen Ziele zugewandten Bestrebungen keinerlei Notiz nimmt, hat wohl Mancher mit Kopfschütteln gesehen; trotzdem aber sollte man durch den vielleicht auffälligen Umstand sich nicht zu Vorwürfen hinreißen lassen, wie sie wiederholt, am bittersten von K. E. Dühring (geb. 1833) und Groß, erhoben worden sind. Helmholtz selbst hat sich die Gelegenheit nicht entgehen lassen, den Sachverhalt aufzuklären, als er im Jahre 1889 seine Arbeit einer Durchsicht unterzog, um sie in Ostwalds trefflichem Sammelwerke „Klassiker der exakten Wissenschaften“ neu aufzulegen. Diese Zusätze stammen allerdings bereits aus dem Jahre 1881 und haben namentlich auch aus dem Grunde ein besonderes Interesse für uns, weil wir erfahren, was wir an sich zu erwarten berechtigt waren, daß eben Helmholtz damals, als er seinen Vortrag zuerst hielt und für den Druck überarbeitete, von Mayers Arbeiten noch nichts wußte. Als er von ihnen Kunde bekommen,

da habe er auf sie auch stets in der Weise hingewiesen, daß die Übereinstimmung im Ziele betont ward; in der That ist ja auch die Verschiedenheit der Wege, auf denen beide diesem Ziele zustrebten, eine überaus große! Helmholtz beruft sich u. a. auf einen späteren Vortrag, den er im Jahre 1854 hielt, sowie auf den Briefwechsel, in dem er mit dem schottischen Physiker P. G. Tait (geb. 1831) stand. Letzterer hatte Mayers Verdienst neben demjenigen Joules, auf den die Briten mit Recht besonders große Stücke halten, nicht recht gelten lassen wollen, und daraufhin schreibt sein deutscher Kollege: „Was nun Robert Mayer betrifft, so kann ich allerdings den Standpunkt begreifen, den Sie ihm gegenüber eingenommen haben, kann aber doch diese Gelegenheit nicht hingehen lassen, ohne auszusprechen, daß ich nicht ganz derselben Meinung bin.“ Joule habe zwar mehr als Mayer gethan, in dessen Abhandlungen eine gewisse Unklarheit nicht zu verkennen sei, aber man müsse in ihm nichtsdestoweniger den Mann schätzen, „der unabhängig und selbständig diesen Gedanken gefunden hat, der den größten neueren Fortschritt der Naturwissenschaft bedingte“. Auf solche Zeugnisse hin ist es schlechthin unzulässig, im bekannten Stile von Helmholtz' Widersachern zu behaupten, dieser habe sich bemüht, das Verdienst dessen, in dem er einen gefährlichen Nebenbuhler erkennen mußte, zu verkleinern oder totzuschweigen. Die Genialität beider Naturen war eine fremdartige; die philosophische, nach allen Seiten ausgreifende Deduktion Mayers konnte den induktiven Sinn seines Konkurrenten, der in der strengen Schule der Mathematik herangebildet war, nicht zufriedenstellen. Aber trotz dieser Verschiedenheit der Grundauffassung spricht es Helmholtz gegen Tait deutlich aus, daß die chronologische Priorität in der öffentlichen Bekanntgabe des Gesetzes von der Erhaltung der Energie eben Mayer gebührt, wenn auch Colding und M. Séguin (1786—1875) fast gleichzeitig sich gemeldet hätten. Bezüglich des letzteren möchten wir bemerken, daß derselbe doch nur sekundär mitgezählt werden darf, denn er beschränkte sich hauptsächlich auf den Nachweis, daß auch der Aëronaut J. Montgolfier (1740—1810) ganz zutreffende Ansichten über die Einheit der Naturkräfte gehegt habe.

Endlich schlug denn doch auch Mayers Stunde, und man begann, ihm die bisher verweigerte Gerechtigkeit widerfahren zu lassen. Zwar der große Physiker William Thomson (geb. 1824), seit seiner Nobilitierung als Lord Kelvin in den weitesten Kreisen bekannt, verbreitete sich noch zu Beginn der fünfziger Jahre über die Erhaltung der Sonnenenergie in einem Ideengange, der mit demjenigen Mayers dem Inhalte nach ganz übereinstimmt, ohne des letzteren zu gedenken; es mochten eben von dem einschlägigen Schriftchen nur ganz wenige Exemplare über den Kanal hinübergewandert sein, und in Thomsons Hände war keines derselben geraten. Die Physiker verharrten noch längere Zeit in ihrer Zurückhaltung, aber die Chemiker, die ja doch auch beteiligten Interessenten, wurden nachgerade wärmer in ihrer Anerkennung. So 1858 Schoenbein, so 1859 Liebig, der in einer Neuauflage seiner „Chem. Briefe" das Verdienst Mayers unumwunden feierte, und dieses in allen Kreisen beliebte Buch hat zweifellos sehr dazu beigetragen, Entdecker und Entdeckung bekannter zu machen. Das größte Verdienst in dieser Hinsicht muß jedoch John Tyndall (1820—1893), dem populärsten englischen Physiker der neuesten Zeit, zugesprochen werden. Auf deutschen Universitäten herangebildet, mit der deutschen Fachlitteratur innig vertraut und durch seine zahlreichen, großartigen Alpenreisen in steter Berührung mit deutschem Wesen erhalten, war derselbe förmlich dazu auserseheu, den Vermittler zwischen unserem und seinem eigenen Volke abzugeben, und er hat sich dieser ehrenvollen Aufgabe auch mit hingebendem Eifer unterzogen. Als im Jahre 1862 die Londoner Weltausstellung stattfand, hatte er vor einer Versammlung hervorragender Männer einen wissenschaftlichen Vortrag zu halten; er wählte das Thema der Energieverwandlung, erläuterte in seiner gemeinverständlichen Weise alle dahin zielenden Fragen und erklärte hierauf, ein in England wohl noch wenig bekannter deutscher Arzt, in der württembergischen Stadt Heilbronn lebend, sei es, der eine neue Periode des naturwissenschaftlichen Denkens inauguriert habe. Man müsse staunen über das, was der geniale Mann in der Stille, entfernt vom großen Kreislaufe des wissenschaftlichen Lebens, gefunden habe. Gleich darauf warf

Tyndall ein Werk auf den Büchermarkt — „Die Wärme als eine Art der Bewegung“ lautet der Titel der von Helmholtz und G. Wiedemann (1826—1898) besorgten deutschen Ausgabe —, welches die neue Energielehre kräftig vertrat und durch fein ersonnene Experimente veranschaulichte; auch hier ist Mayer ein Mittelpunkt der Darstellung. Da sah denn endlich die gelehrte Welt ein, was sie versäumt hatte. Angesehene Akademien, darunter die dereinst so vornehm negierende Pariser, nahmen Mayer als Mitglied auf; die philosophische und naturwissenschaftliche Fakultät Tübingens ernannten ihn zum Ehrendoktor; auch sonst gab es äußere Anerkennungen in Hülle und Fülle. Und dem Vielgeprüften haben gewiß nur wenige diesen späten Erfolg nicht gegönnt. Auch der wissenschaftliche Johannistrieb erwachte in ihm — freilich ohne daß, was er in diesen späteren Jahren produzierte, mit den geistsprühenden Jugendleistungen einen Vergleich aushielte. Ein 1869 auf der Innsbrucker Naturforscherversammlung gehaltener Vortrag über „Konsequenzen und Inkonsequenzen der Wärmemechanik“ gab Denen recht, die meinten, Mayers Uhr sei doch im wesentlichen abgelaufen; es kommen darin positive Unrichtigkeiten vor, und auch wer an und für sich ganz auf des Redners religiösem Standpunkte steht, wird es doch für unangebracht erklären müssen, daß derselbe das Energiegesetz, wie die gesamte Philosophie „zu einer Propädeutik der christlichen Religion“ umstempeln wollte. Mit J. J. Weyrauch (geb. 1845), dessen biographische Skizze über Mayer uns am besten den Weg objektiver Würdigung einzuhalten scheint, während man sich andererseits zu blinder Verhimmelung verstiegen hat, müssen wir eben sagen: Schon mit 34 Jahren war infolge des Zusammentreffens aller möglichen widrigen Umstände diese reiche Lebenskraft gebrochen, und die noch folgenden drei Dezennien konnten nur noch ein oberflächliches Gleichgewicht wieder herstellen, die ehemalige geistige Spannkraft aber nicht mehr zurückrufen.

Es dünkte uns notwendig, Mayer als eine geschichtliche Persönlichkeit, wie deren nicht allzu viele vorkommen, zusammenhängend zu charakterisieren, aber es ließ sich dabei nicht vermeiden,

daß wir dabei in die Folgezeit hineingeführt wurden, in die Zeit einer neuen physikalischen Disziplin, bei deren Begründung eben der „schwäbische Newton", wie sich einmal einer seiner Bewunderer gar nicht übel ausgedrückt hat, eine einflußreiche Rolle spielte. Dies ist die mechanische Wärmetheorie oder Thermodynamik, die in den letzten Jahren namentlich deshalb zu so großer Bedeutung durchgedrungen ist, weil sie alle Fortschritte der Maschinenkunde regelt und selbst schon zu konstruktiven Erfindungen den unmittelbaren Anstoß gab, die rein empirisch schwerlich gemacht worden wären.

Wärme ist Bewegung, so mußte der rationelle Physiker um die Mitte des Jahrhunderts denken, und da man von ersterer nichts unmittelbar, sondern nur durch Vermittlung des Tastsinnes und geeigneter Instrumente etwas wahrnimmt, so mußte der Bewegungsvorgang ein interner, unsichtbarer geworden sein. Molarbewegung hatte sich in Molekularbewegung umgewandelt, und letztere konnte wieder einer Rückverwandlung in eine Arbeitsleistung teilhaftig werden. Nachdem man sich diese Thatsache recht klar gemacht hatte, erwachte auch erst die Neigung, eine bei weitem ältere Untersuchung, auf die wir auch oben anspielten, im Lichte der neu gewonnenen Einsicht zu betrachten und sie so zu würdigen, wie dies eben vorher nicht wohl möglich gewesen war. Sadi Carnot (1796—1832), Sohn des berühmten militärischen Organisators der Revolutionsjahre L. N. M. Carnot (1753—1823), auch eines geschätzten Schriftstellers über Mathematik und Maschinenlehre, hatte schon vor längerer Zeit eine theoretische Studie über die Eigenschaften und die Wirkungsweise der Dampfmaschine veröffentlicht („Réflexions sur la puissance motrice du feu et les machines propres à développer cette puissance", Paris 1824); man wußte jedoch mit der geistvollen Arbeit, die man als solche bereitwillig anerkannte, nichts Rechtes anzufangen, weil die Art der Entwicklung eine allzu fremdartige war. Carnot geht von der in Fouriers Wärmetheorie den obersten Leitsatz darstellenden Annahme aus, daß die Wärme immer vom höher temperierten zum niedriger temperierten Körper übergehen muß; die moderne Energetik spricht diese Wahrheit allgemeiner so aus,

daß jede Bewegung vom höheren zum tieferen Niveau, und niemals umgekehrt, sich vollzieht; unter Niveau ist im allgemeinen eine Ortsfläche gleichen Potentiales verstanden. Die Natur strebt nach Carnot unter allen Umständen nach einer Wiederherstellung des kalorischen Gleichgewichtes, und dieses Prinzip läßt sich auch im Spiele der arbeitenden Teile einer Dampfmaschine verfolgen. Wo sich eine Temperaturdifferenz herausstellt, da kann sich bewegende Kraft entwickeln, und wo man über letztere verfügt, kann man sie zur Herstellung einer Temperaturdifferenz benützen. Stoß und Friktion stören das kalorische Gleichgewicht. Um nun die Art und Weise zu erklären, wie die Maschine arbeitet, denkt sich Carnot zwei stets auf konstanter Temperatur erhaltene, somit den Dienst unerschöpflicher Wärmebehälter thuende Körper A und B, und zwar soll A eine höhere Temperatur als B haben. Der Dampf hat die Bestimmung, fortgesetzt Wärme von A nach B zu überführen. Zunächst giebt A Wärme her, um Dampf zu erzeugen, wie dies ein Herd oder Kessel besorgt; hierauf wird der so gebildete Dampf in einen Zylinder eingeschlossen, in welchem ein Stempel sich alternierend bewegen kann, und wenn durch das Aufziehen dieses Stempels dem Dampfe ein größerer Raum eröffnet wird, als er ihn vorher einnahm, so dehnt sich jener aus, und Abkühlung ist die Begleiterscheinung dieser Ausdehnung. Man läßt diesen Prozeß so lange andauern, bis der Dampf die Temperatur des Körpers B angenommen hat, und alsdann verflüssigt man ihn wieder durch Druck, wobei er mit B fortwährend in Berührung bleibt; letzterer übernimmt so die Rolle, welche bei der älteren Dampfmaschine das eingespritzte Wasser spielte. Dann kann der Hergang von neuem in der gleichen Weise erfolgen, indem der gleiche Endzustand erreicht wird; es liegt das vor, was R. J. E. Clausius (1822—1888) nachmals einen Kreisprozeß genannt hat. Wenn etwa n Zustände $a_1, a_2 \ldots a_n$ von solchem Charakter vorliegen, daß der letzte derselben a_n wieder ganz mit a_1 zusammenfällt, so ist eine solche Verkettung von Zuständen gegeben. Von selbst versteht es sich gar nicht, daß auch ganz die nämliche Reihenfolge in umgekehrter Ordnung durchgemacht werden kann, so daß also auf a_n zuerst a_{n-1}, dann a_{n-2} und schließlich $a_1 = a_n$ zu

folgen hätte; im einen Falle ist der Kreisprozeß konversibel, im anderen ist er nicht-konversibel. Bei der Dampfmaschine ist die Umkehrbarkeit gegeben; indem die Wärme von B nach A zurückgezwungen wird, findet aber ein Verbrauch von bewegender Kraft statt. Wäre es denkbar, daß aus einer gegebenen Wärmemenge W ein Quantum Q_2 bewegender Kraft, größer als die aus einem Kreisprozesse resultierende Quantität Q_1, herausgezogen würde, so wäre die Differenz $(Q_2 - Q_1)$ freier Gewinn, und da man diese Anreicherung von bewegender Kraft beliebig oft, etwa m mal, vor sich gehen lassen könnte, so wäre $m (Q_2 - Q_1)$ disponibel. Das ist sinnlos, und so kann man behaupten, Carnot habe den ersten strengen, wiewohl immer noch etwas eingeschränkten Beweis gegen die Möglichkeit eines Perpetuum mobile, d. h. einer aus sich selbst die Kraft zu stetigem Fortarbeiten holenden Verbindung von Mechanismen, erdacht. Er hat jedoch den Beweisgang noch verallgemeinert, so daß die allzu spezielle Anlehnung an das Beispiel der Dampfmaschine vermieden wurde, und so gipfelten seine durch hohe Originalität ausgezeichneten Ausführungen in dem Theoreme: Das irgendwie durch kalorische Prozesse zu erzielende Maß von bewegender Kraft ist von der besonderen Form jener Veranstaltungen gänzlich unabhängig und wird einzig und allein durch den Temperaturunterschied der beiden Körper bedingt, welche den Wärmeaustausch vermitteln.

Wie Mayer bei den Physikern und Philosophen, so kam Carnot bei den Vertretern der technischen Mechanik, von anderen ganz zu geschweigen, viel zu früh; man bewies ihm zwar stille Achtung, ging aber den fundamentalen Methoden und Wahrheiten, die man von ihm lernen konnte, scheu aus dem Wege. Kaum wesentlich besser erging es dem ausgezeichneten Ingenieur, der ein Jahrzehnt nachher den Faden der Carnotschen Darlegungen wieder aufnahm und durchaus selbständig mit dem größten Erfolge weiter spann; heute werden B. P. E. Clapeyrons (1799—1864) Theorien von den Lehrstühlen hunderter von technischen Schulen als das ABC einer exakten Behandlung der angewandten Mechanik vorgetragen, und die Diagramme, durch welche er das Wesen des Kreisprozesses veranschaulichte, sind für den nicht im handwerksmäßigen Teile seines

Berufes stecken gebliebenen Maschinentechniker, wie man wohl sagen darf, zum täglichen Brote geworden: er liest an ihnen sofort ab, was er außerdem nur durch Rechnung und längeres Nachdenken finden würde. Leider muß auf eine Analyse der maßgebenden Abhandlung Clapeyrons verzichtet werden, weil dieselbe ganz auf höherer Rechnung beruht. Er kleidete Carnots Schlüsse und Ergebnisse mathematisch ein und brachte es so dahin, den theoretischen Nutzeffekt einer durch Gase oder Dämpfe bewegten Maschine berechnen zu können; selbstverständlich ist, da ja kein Mechanismus vollkommen gemacht werden kann, dieser errechnete Effekt immer, und zwar nicht selten um ein Beträchtliches, größer als der wirkliche. Etwas später hat ein zu verdienter Berühmtheit gelangter schottischer Ingenieur, W. J. M. Rankine (1820—1872), anläßlich seiner fruchtbaren Untersuchungen über die Ökonomie der Dampfmaschinen, die erwähnte Differenz genauer ermittelt und gezeigt, ein wie großer Teil der aufgewandten Wärme in nutzlos ausgestoßenen Rauch hineinschlüpft, ohne bei der thatsächlichen Arbeitsleistung mitzuwirken.

Unter den deutschen Fachmännern hat, nachdem die Clapeyronsche Abhandlung schon zuvor eine Übertragung in unsere Sprache erlebt hatte, K. A. H. Holtzmann (1811—1865) seine Aufmerksamkeit den Neuerungen der beiden Franzosen zugewandt; doch begnügte er sich nicht damit, denselben in seiner Theorie der Gase und Dämpfe von 1845 gebührend Rechnung zu tragen, sondern er arbeitete auch an deren Weiterbildung werkthätig mit. Er dachte sich ein gewisses Volumen elastischer Flüssigkeit in einem Wärmeeinflüssen gänzlich entzogenen Gefäße abgesperrt und in letzteres dann einen Wärmestrom von außen geleitet; dann tritt eine Steigerung der Temperatur und eine Vergrößerung der bereits vorhandenen Elastizität ein, aber die Materie bleibt unbewegt. Wäre andererseits die Vergrößerung des Volumens ermöglicht, so leitete die Wärmezufuhr auch eine wirkliche Bewegung ein. Diesen Gedanken weiter ausgestaltend, kam Holtzmann dazu, ein gewisses Maß mechanischer Arbeit einer gewissen Temperaturzunahme als äquivalent zur Seite zu stellen, aber dieser Begriff ist keineswegs identisch mit jenem, den Mayer mit dem entsprechenden Haupt-

worte kennzeichnete; im letzteren Falle hat man es mit einer durch die Natur selbst fixierten Gesetzmäßigkeit, im ersteren nur mit einer mehr oder weniger willkürlichen, wennschon für die Praxis nützlichen Maßbestimmung zu thun. Beide Schriften, die Holtzmannsche wie die Mayersche, sind im gleichen Jahre erschienen, so daß also, von den sachlichen Gegengründen ganz abgesehen, auch an sich schon jede Vermutung wechselweiser Beeinflussung abzuweisen ist. Zwischen jener ganz autonomen Wärmetheorie, welche durch Carnot, Clapeyron, Holtzmann geschaffen wurde, und derjenigen, welche Mayer, Helmholtz, Joule auf dem Gesetze von der Konstanz der Energie aufbauten, war somit um das Jahr 1850 noch keine vollkommene Übereinstimmung hergestellt; es klaffte eine Lücke, auf deren Vorhandensein Helmholtz ausdrücklich aufmerksam gemacht hat. Für Gase erklärte er die von Clapeyron und Holtzmann entwickelten Formeln als durch die Erfahrung gerechtfertigt, wenn auch in die Herleitung einige nicht von vornherein klare Voraussetzungen eingegangen seien; „ihre Anwendbarkeit auf feste und tropfbar flüssige Körper bleibt," so fuhr er fort, „vorläufig zweifelhaft." Joule hätte am liebsten den Carnotschen Lehrsatz, den er mit seinen Versuchsergebnissen nicht in Einklang setzen zu können glaubte, ganz über Bord geworfen, begegnete aber hier dem Widerstande W. Thomsons und J. Thomsons (1822—1892), wogegen Rankine den radikalen Standpunkt Joules sogar noch schärfer präzisierte; Wärmeübergang allein, folgerte er aus seinen Rechnungen, vermöge keine Arbeitsleistung zu bewirken.

So stand es im Jahre 1850. Zwei verschiedene thermodynamische Systeme lagen vor, die beide das miteinander gemein hatten, daß sie Arbeit und Wärme in die engste Wechselwirkung setzten, die aber hinsichtlich der entscheidenden Frage, wie man sich diese Wirkung zu denken habe, auseinandergingen. Gerade jetzt erschien Clausius auf dem Kampfplatze, schon bekannt durch seine schönen Studien über atmosphärische Lichtphänomene, aber gerade auf dem hier in Rede stehenden Gebiete noch ein Neuling. Und doch löste seine bahnbrechende Arbeit „Über die bewegende Kraft der Wärme" das bestehende Dilemma. Die Grundannahme Carnots erschien ihm nicht bedenklich oder gar irrtümlich, sondern nur

des Zusatzes bedürftig, daß Wärme so wenig wie Arbeit jemals verloren gehen könne. Carnot hatte den Idealfall ausschließlich ins Auge gefaßt, daß die Arbeitserzeugung sich ohne jeden Wärmeverlust vollziehe; ein solcher könne jedoch sehr wohl eintreten, freilich nur in der Weise, daß die anscheinend verloren gegangene Wärme sich irgendwie wieder in Wärme umgesetzt habe. Ein Teil der — bei Beibehaltung der früheren Bezeichnung — im Körper A aufgespeicherten Wärme geht natürlich in den kälteren Körper B über und erwärmt denselben; ein anderer Teil aber leistet direkt eine mechanische Arbeit. Überall, wo durch Wärme Arbeit produziert wird, wird eine dem Arbeitsquantum proportionale Wärmemenge konsumiert, und wenn ein analoges Arbeitsquantum scheinbar verbraucht wird, entwickelt sich Wärme in gleicher Menge. Diese Doppelthatsache ist seit Clausius als erster Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie bekannt. Für die Volumänderung eines Gases hatte die ältere, die Carnotsche Anschauung keine rechte Interpretation; nunmehr aber erkennen wir, daß das sich ausdehnende Gas einen Widerstand überwindet, gewissermaßen eine bewegliche Wand zurückschiebt und damit also eine Arbeit leistet, die durch eine Abkühlung der Gasmasse kompensiert werden muß. Das Wesen der latenten Wärme, an deren Erklärung die kalorische Stofftheorie scheiterte, ist jetzt von selbst klar. Führt man einem mit Eis gefüllten Gefäße Wärme zu, so schmilzt zwar der Inhalt, aber ein hineingestecktes Thermometer bleibt unverändert auf seinem Stande, weil eben jetzt die mitgeteilte Wärme eine Arbeit leisten und die zuvor nahe aneinander gelagerten Körperteilchen so weit voneinander entfernen muß, daß der feste in den flüssigen Aggregatzustand übergeht. Bei der Verdampfung geht es genau ebenso, und in beiden Fällen hat sich die latente Wärme, die man deshalb treffender als Schmelzungs- und Verdampfungswärme bezeichnet, der Beobachtung und Messung mit dem dafür bestimmten Instrumente gänzlich entzogen. Die Wärme nahm zu; die Temperatur änderte sich nicht — ein Beweis dafür, daß es strenge genommen nicht erlaubt ist, diese beiden Begriffe als gleichbedeutend zu behandeln. Auch der Unterschied zwischen innerer und äußerer Arbeit ist alsdann klargelegt.

Ein unvergängliches Verdienst hat sich Clausius gleich in seiner ersten Abhandlung dadurch erworben, daß er neben den ersten Hauptsatz, der ja eben nur aus den prinzipiellen Feststellungen von Mayer und Helmholtz die Konsequenz zieht, einen zweiten Hauptsatz der Thermodynamik stellte, durch den das Carnotsche Theorem in die dem Urheber wohl vorschwebende, aber noch nicht bestimmt genug gefaßte Form gebracht und die Grundlage zu einer exakten Auffassung der Kreisprozesse gelegt wird. Mit Carnot mußte er einen an sich einleuchtenden, mit jeder Erfahrung übereinstimmenden Grundsatz formulieren, und zwar lautete dieser wiederum dahin, daß unmöglich aus freien Stücken von einem kälteren Körper B Wärme in einen wärmeren Körper A übergehen könne. Aber diese Annahme reicht noch nicht aus. Denken wir uns einen Kreisprozeß, so wird dem Körper A, dem die Temperatur t_1 eignete, Wärme entzogen, und diese erleidet eine zweifache Ausnützung; ein Teil ω_1 wird zu einer Arbeitsleistung verwendet, und ein anderer Teil ω_2 dient dazu, die niedrigere Temperatur t_2 ($t_2 < t_1$) des Körpers B zu erhöhen; dann steht dieses letztere Wärmequantum zur Größe der Maximalarbeit, welche dem Gesamtprozesse entspricht, in einem angebbaren Verhältnis, welches ausschließlich von den Temperaturen t_1 und t_2, nicht jedoch irgendwie von der Natur der die Vermittlung besorgenden Stoffe abhängt. Mathematisch ausgedrückt: Es ist das Arbeitsmaximum eine Funktion der Differenz ($t_1 - t_2$), welche als Carnotsche Funktion in der Wissenschaft bekannt ist. Der ältere Satz des französischen Mechanikers bildet mithin das Fundament des sogenannten zweiten Hauptsatzes. Nur ein Jahr nach Clausius gelangte W. Thomson, durch teilweise abweichende Überlegungen geleitet, zu dem gleichen Schlusse. Er dehnte denselben übrigens noch weiter aus und wurde so der Schöpfer einer gewissen kosmologischen Lehre, welche bis auf den heutigen Tag Diskussionen in reichster Fülle ausgelöst hat. Jede Energieform kann zum Teile in Wärme verwandelt werden, und es ist nicht undenkbar, daß einmal sämtliche Energie, die im Weltall aufgespeichert ist, dieser Umwandlung teilhaftig geworden wäre. Damit ist dann aber schließlich der Ausgleich aller Wärmedifferenzen gegeben; es

tritt absolute Energiezerstreuung und damit Bewegungslosigkeit und Tod ein. Es ist von Rankine die Möglichkeit angedeutet worden, daß vielleicht doch wieder, wenn die Stoffmenge im Universum eine endlich begrenzte sei, eine Art von Reflexion und Wiederkonzentrierung der Energie in einzelnen Herden erfolgen könne; doch fehlt uns jeder Einblick in die gemutmaßte Wesenheit eines solchen Vorganges, und derselbe erscheint noch hypothetischer, als dies von der Thomsonschen Dissipationstheorie selbst gesagt werden darf.

Es war wiederum Clausius, der für alle einschlägigen Betrachtungen eine überaus glückliche Ausdrucksweise fand. Wie wir wissen, giebt es zweierlei Arten von Kreisprozessen, reversible und nicht-reversible; bei den ersteren geht von der verwandlungsfähigen Energie nichts verloren, wohl aber ist dies der Fall, wenn keine Umkehrbarkeit statthat. Dann also ist ein Quantum nicht mehr transformationsfähiger Energie vorhanden, welches Clausius mit dem Namen Entropie belegt hat. Führt man diesen Begriff in Thomsons Definition des Weltunterganges — denn dieses wäre ja doch die Dissipation der Energie — ein, so kann man kürzer sagen: Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu. Mit der Einführung von Begriff und Wort hat der berühmte Physiker einen sehr glücklichen Griff gemacht. „Das Wort,“ so teilt er uns mit, „habe ich absichtlich dem Worte Energie möglichst ähnlich gebildet, denn die beiden dadurch benannten Größen sind ihren physikalischen Bedeutungen nach einander so nahe verwandt, daß eine gewisse Gleichartigkeit in der Benennung mir gerechtfertigt zu sein scheint.“ So verhält es sich in der That, und ohne Widerspruch befürchten zu müssen, konnte für eines der besten neueren Handbücher der Physik, den „Kanon“ von F. Auerbach (geb. 1856), eine Gliederung in nur zwei Hauptkapitel gewählt werden: Lehre von der Energie und Lehre von der Entropie. Übrigens hat der zweite Hauptsatz sich mancher Angriffe geachteter Gegner erwehren müssen, und erst in neuester Zeit kann er als völlig gesichertes Besitztum der Wissenschaft gelten, auch in dem auf die nicht umkehrbaren Kreisprozesse bezüglichen Teile.

In der analytischen Fassung desselben tritt uns ein weiterer Begriff entgegen, der allerdings schon bei Clausius' Auftreten kein vollständig neuer war, gleichwohl aber jetzt erst die richtige Würdigung fand. Wir hoben oben hervor, daß erst das energetische Zeitalter, wenn wir uns diesen an sich verständlichen Ausdruck gestatten dürfen, des Unterschiedes von Wärme und Temperatur gehörig inne wurde, obwohl man auch zuvor schon eingesehen hatte, daß in der Bestimmung der letzteren, vorab in der Wahl des Nullpunktes, der ja eben deshalb auch bei Réaumur-Celsius und bei Fahrenheit nicht der nämliche war, einige Willkürlichkeit obwalte. Sollte wohl ein absoluter Nullpunkt der Temperatur existieren? A. Crawford (1749—1795) hatte, als er seine ersten Versuche über die spezifische Wärme der Gase anstellte, diese Frage bejaht, den Nullpunkt selber jedoch unverhältnismäßig zu tief angesetzt; weit näher waren Dalton, Laplace, Clément und Désormes der Wirklichkeit gekommen. Aus der neuen Formulierung, welche Gay-Lussac dem Boyle-Mariotteschen Gesetze erteilt hatte, ging der gesuchte Wert ohne weiters hervor, denn in ihr steht der Faktor $(1 + \alpha t)$, wo t das Temperaturwachstum, α den konstanten Ausdehnungskoeffizienten der Gase vorstellt. Man fand $\alpha = 1 : 273$, und wenn folglich $t = - 273^0$ gesetzt wird, so wird jener Faktor zu Null, es ist gar keine Wärme mehr vorhanden. Der absolute Temperaturnullpunkt liegt demnach bei $- 273^0$ C. Allein auch damit war nur erst ein Rechnungswert gewonnen, und es blieb Thomson vorbehalten, im Jahre 1848 die mechanische Bedeutung der erwähnten unteren Grenze zu ermitteln. Die Temperatur ist stets proportional der lebendigen Kraft, welche der von der Wärme bedingten Molekularbewegung der kleinsten Körperteile innewohnt, und bei $- 273^0$ hört jede derartige Bewegung auf. In Wahrheit eignet, wie zumal E. Mach (geb. 1838) dargethan hat, der Zahl 273 diese ihr zuerst beigelegte hohe Bedeutung nur sehr bedingt. Alsdann herrscht absolute Kälte, während im Bereiche der gewöhnlichen Temperaturveränderungen Kälte nicht im Sinne von Aristoteles und Francis Bacon einer selbständigen Kategorie, sondern lediglich einem Wärmeabfalle gleichzuachten ist. Thomson ging, gestützt auf

Joules Experimente, noch einen Schritt weiter und definierte: Absolute Temperatur ist ein Bruch, dessen Zähler das mechanische Äquivalent der Wärmeeinheit, dessen Nenner die Carnotsche Funktion darstellt. So war es denn also möglich geworden, alle die verschiedenen Begriffe, zu deren Bestimmung die Notwendigkeit einer einwurfsfreien Definition des Wechselverhältnisses von Wärme und Arbeit hingedrängt hatte, auch unter sich in engste Verbindung zu bringen. Aber freilich war die Art der Bewegung, welche man Wärme nennt, noch nicht erschöpfend festgestellt; nach dieser Seite hin erheischte die Thermodynamik ihre Erweiterung gebieterisch, und es war einleuchtend, daß lediglich die Lehre von den Gasen, auf welcher ja auch Clausius sein Lehrgebäude aufgerichtet hatte, die Mittel für eine solche Ausgestaltung zu liefern imstande sei. Die Mechanik der Wärme bedurfte zu ihrer Ergänzung dringend einer kinetischen Gastheorie.

„Unter Wärme“, so äußerte sich 1851 L. F. Wilhelmy (1812—1864), einer der ersten, die den chemisch anerkannten Unterschied zwischen Atom und Molekül auch in der Physik wieder aufleben ließen, „versteht man einen von der Schwingungsgeschwindigkeit der Moleküle abhängigen Effekt.“ Es war also soviel klar, daß Wärme eine oszillatorische Bewegung der Korpuskeln bedeutete. Nahm man dies als Thatsache hin, so war leicht einzusehen, daß die lebendige Kraft eines schwingenden Moleküls, wie früher bemerkt ward, der Temperatur proportional, wo nicht für diese der unmittelbar adäquate Ausdruck sein mußte. Joule im Gegenteile hatte den Elementarbestandteilen erwärmter Körper eine translatorische Bewegung zugeschrieben. Eine Konkordanz zwischen beiden Ansichten stellte A. K. Kroenig (1822—1879) her, ein scharfer Denker, der stets mit Clausius zusammen genannt werden muß, wenn von der Begründung eines der wichtigsten Zweige der modernen Physik die Rede ist.

Kroenig hat in die Atomistik, die sich in einem Zustande unsicheren Schwankens befand, zuerst wieder feste Grundlehren hineingetragen. Wir hörten, daß Faraday eher Dynamiker war, und daß unter seinen Händen sich die Atome, denen wir doch

ohne die Vorstellung der Körperlichkeit kaum einen klaren Sinn abgewinnen können, in Kraftpunkte verwandelten, vergleichbar jenen, die 1755 der scharfsinnige R. G. Boscovich in seiner Dissertation „De lege virium in natura existentium“ zu wahren Trägern der natürlichen Kraftäußerungen erhoben hatte. C. H. D. Buys-Ballot hatte 1849 die später beliebte Zweiteilung der Atome in Massen- und Ätheratome durchgeführt, die zwar eine bequeme Erklärung vieler Phänomene zu gewährleisten scheint, in letzter Instanz aber doch, auch wenn man sich nicht an ihrem Widerstreite gegen eine monistische Naturauffassung stößt, dem Kausalbedürfnis nicht recht Genüge thun kann. Den Gegensatz zwischen beiden Klassen von Atomen ließ G. Th. Fechner fallen; obwohl er seine „Physikalische und philosophische Atomenlehre“ (Leipzig 1856) auf die Annahme eines die nicht-ponderablen Bethätigungen der Materie ermöglichenden Weltäthers fundiert, räumt er doch keinen Unterschied zwischen den kleinsten Elementen des sinnenfälligen Stoffes und des unseren Sinnen entzogenen Äthers ein. Nur eine einzige Art von Atomen, als letzte Bestandteile aller Körper, die ja schließlich in den elastisch-flüssigen Aggregatzustand aufgelöst werden können, ließ auch Kroenigs Gastheorie von 1856 zu. An und für sich bewegt sich ein Gasatom nicht vibratorisch, sondern progressiv in gerader Linie, allein es ist dafür gesorgt, daß es auf dieser seiner Bahn nicht allzu weit kommt; entweder wird es von der Gefäßwandung abprallen oder es wird mit einem zweiten Atome zusammentreffen und an diesem eine Reflexion erfahren. Daß mit dieser Voraussetzung die uns bekannten Gesetze von Mariotte, Gay-Lussac und Avogadro gut verträglich sind, konnte Kroenig durch die allereinfachsten algebraischen Betrachtungen darthun. Auch fiel es ihm nicht schwer, den Anprall massenhafter Gasatome an einen festen oder tropfbar-flüssigen Körper als Arbeitsquelle zu kennzeichnen, so daß damit also die Umsetzung von Wärme in mechanische Arbeit ein sich von selbst darbietendes Korollar der atomistischen Gastheorie werden muß.

Angeregt durch Kroenig, trat im folgenden Jahre Clausius mit seiner Abhandlung „Über die Art der Bewegung, welche wir

Wärme nennen," vor die Öffentlichkeit. Zwischen ihm und seinem Vorgänger herrscht in dem Hauptpunkte Übereinstimmung; nur stellt Clausius den vollkommenen Gasen, für welche die soeben besprochenen Bewegungsgesetze uneingeschränkte Geltung haben, die gewöhnlichen, schon mehr oder weniger in einem Zwischenzustande befindlichen Gase gegenüber, für deren Urbestandteile er Drehbewegungen nicht als ausgeschlossen ansehen will. Was seine Darlegungen der thermischen Atomistik besonders wertvoll macht, das ist die Zurückführung der drei sogenannten Aggregatzustände auf eine Verschiedenheit des Bewegungszustandes der kleinsten Körperbestandteile, und zwar auf eine quantitative Verschiedenheit, denn daß qualitativ eine solche kaum werde bestehen können, mußte nach den im achten Abschnitte geschilderten Versuchen von Faraday u. a. über Gasverflüssigung wohl geschlossen werden. So lange ein Körper „fest" ist, gehört zu jedem Molekül auch eine stabile Gleichgewichtslage, welche jenes einnimmt, wenn die Temperatur gerade auf dem absoluten Nullpunkte steht, während es sonst um die Gleichgewichtslage oszilliert. Letztere geht bei einem „flüssigen" Körper verloren; indessen ist die Bewegungsenergie noch keine so lebhafte, daß das Einzelmolekül aus der Wirkungssphäre seiner Nachbarmoleküle gänzlich losgetrennt würde; nur in einer oberflächlichen Schicht, welche nach oben zu einen lockereren Zusammenhang aufweist, kann es geschehen, daß die Moleküle in raschere Bewegung geraten, ihre Verbindung mit ihresgleichen ganz einbüßen und geradlinig sich fortbewegen. Dies ist der Prozeß der Verdunstung oder Verdampfung, je nachdem dieses Losringen der Moleküle mit geringerer oder größerer Geschwindigkeit vor sich geht; hindert ein abgeschlossener Raum, in welchem sich die ihrem Grenzzustande sich nähernde Flüssigkeit befindet, die einzelnen Körperchen daran, ihren Weg nach oben weiter fortzusetzen, so müssen dieselben wieder mehr oder weniger in derselben Weise schwingen, wie sie es zuvor als Bestandteile der tropfbaren Flüssigkeit thaten; d. h. es bildet sich über der Verdampfungsfläche ein wiederum verschiedener Zustand aus. Der Raum ist mit Dampf gesättigt, und wenn jetzt durch Temperaturrückgang die Bewegungsenergie der vibrierenden Körper

vermindert wird, so tritt Kondensation, Rückführung in den eigentlich flüssigen Zustand, ein. Für „gasförmige" Körper endlich sind Kroenigs Annahmen auch diejenigen von Clausius; die Korpuskeln bewegen sich, wenn kein Hindernis ihnen dies verbietet, immer geradlinig fort, aber da sie allenthalben auf ihresgleichen stoßen, die von derselben Tendenz bewegt sind, so bildet sich doch ebenfalls ein gewisses kinetisches Gleichgewicht heraus, und dieses wird reguliert durch die verschiedenen Zustandsgesetze, die, wie erwähnt, Kroenig als mit seiner Bewegungstheorie übereinstimmend nachzuweisen vermochte.

Die Kroenig-Clausiussche Theorie, zunächst der Thermodynamik entwachsen, besaß auch darüber hinaus eine sehr große, prinzipielle Bedeutung. Der Begriff der Fernkräfte, gegen den wir auch Faraday Stellung nehmen sahen, war von je ein der Vervollkommnung unfähiger; es war ein unbekanntes, spirituelles Etwas, das sich vom anziehenden zum angezogenen Massenpunkte wie ein unendlich dünner Faden hinspannte. An direkte Bewegungsübertragung war noch kaum gedacht worden; jetzt aber war eine weitaus alle früheren Hypothesen an Klarheit übertreffende Einsicht in die Natur tropfbarer und elastischer Flüssigkeiten durch eine Zergliederung der in ihnen herrschenden Bewegungserscheinungen erzielt worden, und auf Kräfte, die von der Stoßkraft verschieden wären, irgendwie Bezug zu nehmen, hatte sich keine Notwendigkeit erwiesen. Der Gedanke, auch die kosmische Schwere auf den Stoß von Ätheratomen zurückzuführen, war nur ein einziges Mal zuvor in die Erörterung geworfen worden, aber G. L. Lesage (1724—1803) war mit seinem „Lucrère Newtonien" von 1782 nirgendwo verstanden worden, und es war ja auch wirklich noch viel zu früh für eine so grundstürzende Reform der ganzen Gravitationsmechanik. Konnte doch auch Ph. Spiller (1800—1879), der in den fünfziger Jahren das gleiche Problem unter ganz nahe verwandten Gesichtspunkten wieder aufnahm, die ungeheuren Schwierigkeiten einer befriedigenden Herleitung des Newtonschen Gesetzes auf diesem Wege nicht überwinden, und auch Anderen, die den verlockenden Weg betraten, ist kein voller Erfolg beschieden gewesen. Allein die grundsätzliche

Möglichkeit, den Kraftbegriff aus der Naturlehre ganz zu eliminieren und ausschließlich Bewegungserscheinungen als Träger der sogenannten Kraftwirkung bestehen zu lassen, schien eben doch gegeben; der Forschung war ein ganz neues, unermeßlich ausgedehntes Feld eröffnet, und daß sich ihr dies eröffnen konnte, war das Verdienst der mechanischen Wärmetheorie.

Diese selbst hat sich in den fünfziger Jahren, über welche wir in diesem Abschnitte nicht hinausgehen möchten, noch beträchtlicher Fortschritte zu erfreuen gehabt. Selbst Forscher, die, wie der Elsässer G. A. Hirn (1815—1890), die von Kroenig und Clausius gelegte Grundlage nicht als sicher anerkannten und deshalb auf dem Boden des Energiegesetzes weiter arbeiteten, ohne sich irgendwie in Spekulationen über die Struktur der Körperwelt und über die Natur der Wärme einzulassen, haben indirekt viel zur Förderung selbst der von ihnen argwöhnisch betrachteten Prinzipienlehre beigetragen. Aus der Technik war dieselbe, unter der Führung Carnots und Clapeyrons, hervorgegangen, und auch Rankine war, wenn er sich mit der Wärmetheorie beschäftigte, in erster Linie Techniker, während allerdings die Deutschen das rein theoretische Moment in den Vordergrund stellten. Nach dieser Seite erhielt aber bald auch in unserem Vaterlande die junge Disziplin eine kräftige Förderung durch das Eingreifen G. Zeuners (geb. 1828), welcher ersterer auch das erste systematische und durch seine Rücksichtnahme auf Maschinenkunde für den Praktiker überaus schätzbare Lehrbuch lieferte („Grundzüge der mechanischen Wärmetheorie, mit besonderer Rücksicht auf das Verhalten des Wasserdampfes“, Freiberg 1860). Hier wurde insbesondere auch die Carnotsche Funktion auf einem neuen Wege eingeführt, mittelst dessen die noch hie und da gegen die Deduktion von Clausius bestehenden Bedenken zerstreut werden mußten.

Im gleichen Jahre 1860 gelang C. Maxwell, dessen wir als eines der erfindungsreichsten Physiker der neuesten Zeit bereits vorübergehend Erwähnung zu thun hatten, ein besonders glücklicher Wurf, kraft dessen die mathematische Behandlung der Gastheorie ungemein gewann. Clausius hatte unter gewissen Voraus-

setzungen die mittlere Geschwindigkeit berechnet, mit welcher sich die Moleküle eines Gases, je nach dessen besonderer Natur, bewegen, allein damit war natürlich noch keineswegs entschieden, zwischen welchen Grenzwerten diese Geschwindigkeiten schwanken und wie sie sich wohl im Inneren einer erwärmten Gasmasse verteilen mögen. An und für sich sind sehr große und sehr kleine Geschwindigkeiten nicht ausgeschlossen, aber es ist nicht wahrscheinlich, daß sie häufiger vorkommen, und von vornherein wird erwartet werden dürfen, daß eine Geschwindigkeit um so häufiger auftritt, je weniger sich ihr numerischer Ausdruck von dem Mittelwerte unterscheidet. Dasselbe Gesetz, welches in der Wahrscheinlichkeitsrechnung das Vorkommen von Fehlern verschiedenen Betrages regelt, ist nach Maxwell für die Verteilung der Geschwindigkeiten unter den Gasmolekülen maßgebend. Man hat, was der britische Physiker zuerst nur durch eine geniale Induktion gefunden hatte, später noch mit strengeren Beweisen versehen. Unabhängig hiervon, jedoch wesentlich auch durch Betrachtungen, die einen geometrischen Wahrscheinlichkeitscharakter an sich tragen, ermittelte Clausius die mittlere Weglänge der Gasmoleküle, und Maxwell fand eben dafür einen sich nur durch den konstanten Faktor unterscheidenden Wert. Damit war bewiesen, daß von ungeheuren Strecken, welche die Gaskörperchen mit gigantischer Schnelligkeit in unmeßbar kleinen Zeiträumen durchfliegen sollten, im allgemeinen gar keine Rede sein könne, und somit konnte man auch nicht mehr aus den Diffusionsvorgängen, die sich ja freilich sehr langsam vollziehen, einen gewichtigen Einwand gegen die mechanische Wärmelehre herleiten, wie dies Buys-Ballot und K. E. G. Jochmann (1833—1871) versucht hatten. Eine Falle, die S. Tolver Preston (geb. 1844) ebenderselben Anschauung sehr geschickt zu stellen gesucht hatte, war von Clausius unschädlich gemacht worden. Denken wir uns, so lautete des Ersteren Argument, einen geschlossenen Zylinder durch einen genau anschließenden, aber in beliebiger Richtung frei beweglichen Stempel zunächst in zwei gleich große Teile geteilt, und geben wir in die beiden Hälften zwei Gase von ungleichem Diffusionsvermögen. Dann bewegt sich das

Diaphragma gegen die Seite des stärker diffundierenden Gases hin, und wenn wir dasselbe in bekannter Weise mit anderen Mechanismen in Verbindung bringen, so kann thatsächlich mechanische Arbeit geleistet werden, und auch das Wärmegleichgewicht zwischen beiden Gasen wird sich ändern, ohne daß irgendwie ein Auslösungsvorgang stattgefunden hätte. Arbeit scheint von selbst erzeugt zu werden. Mit gutem Grunde durfte der Begründer der angegriffenen Theorie erwidern, daß eben, sobald die Gase auf beiden Seiten der beweglichen Trennungswand gleiche Zusammensetzung und gleiche Temperatur aufweisen, gar keine Veränderung eintritt; sind aber die beiden Gasmassen, wiewohl gleich temperiert, ihrer Natur nach verschieden, so sind dies auch ihre inneren Bewegungsverhältnisse, und die Summe der molekularen Stöße, welche die eine Seite des Stempels treffen, ist in gleichen Zeiten größer als die Summe der von der anderen Seite kommenden Stöße. Es wird innere Arbeit geleistet, und diese äußert sich teils in einer Veränderung der obwaltenden Temperaturverhältnisse, teils in der Vollbringung äußerer Arbeit.

Der gegenwärtige Abschnitt ist programmgemäß der Skizzierung der neuen Anschauungen gewidmet, welche im Bereiche der physikalischen Prinzipienlehre etwa im Verlaufe der drei Jahrzehnte 1830 bis 1860 schrittweise ihre Ausbildung erhielten und zuletzt bereits eine so gesicherte Stellung erreicht hatten, daß von ihnen die anorganische Naturwissenschaft der Folgezeit mehr oder weniger suverän beherrscht wurde. Es waren dies die Kraftlinien, das Gesetz von der Erhaltung der Energie und die thermodynamische Gastheorie, welch letztere, wie sich T. V. K. Laßwitz (geb. 1848), der Geschichtschreiber der Atomistik, ausdrückt, die während des 18. Jahrhunderts arg verfallene Disziplin wieder in das richtige Gleis gebracht hatte. Untereinander hingen die neuen Errungenschaften freilich nur zum einen Teile enge zusammen; zu einem anderen Teile fehlte es noch sehr an einer Verbindung, und namentlich stand die nahezu dynamische Stoffhypothese Faradays derjenigen, auf der die mechanische Wärmetheorie beruht, fremd und unvermittelt gegenüber. Gerade das Ende des Zeitraumes aber, innerhalb dessen wir uns augen=

blicklich bewegen, sah sich auch nach dieser Seite hin eine wichtige Veränderung anbahnen, durch welche, zunächst so gut wie ausschließlich unter dem Einflusse Maxwells, eine Verschmelzung zweier anscheinend grundverschiedener Doktrinen über das Wesen der Materie eingeleitet ward.

Faradays einsam dastehende, von den meisten Zeitgenossen nicht sowohl mißachtete, als vielmehr wegen ihrer Neuheit und Fremdartigkeit mit einer gewissen Scheu betrachtete Ansichten hatten selbst in England zunächst nur geringe Anerkennung gefunden. Da unternahm es im Jahre 1855 Maxwell, sozusagen einen Kommentar zu den betreffenden Aufsätzen des Meisters zu schreiben und darin zu zeigen, daß diese Ansichten nicht nur einer sehr ausgedehnten Verwendbarkeit fähig, sondern auch für die mathematische Analyse durchaus nicht so unzugänglich seien, wie man gemeiniglich glaubte. Von diesen Abhandlungen Maxwells, welche ursprünglich der gelehrten Gesellschaft der Universität Cambridge eingereicht waren und, in deren Verhandlungsbänden abgedruckt, vielen unter den kontinentalen Gelehrten notwendig unbekannt bleiben mußten, besitzen wir erfreulicherweise eine treffliche deutsche Bearbeitung von L. Boltzmann (geb. 1844), der unter den deutschen Physikern zweifellos als der beste Kenner und Förderer dieses Untersuchungsgebietes gelten muß. Maxwell erinnert daran, daß die mathematischen Formen, in welche seit Lagrange und Laplace alle auf Massenanziehung und Fernkräfte bezüglichen Wahrheiten gehüllt werden, ohneweiters ihre Brauchbarkeit auch bei ganz anders gearteten Problemen beibehalten, in deren Fassung nicht einmal das Wort Kraft vorkommt. Ersetzt man die Bezeichnungen Anziehungszentrum, beschleunigende Kraft und Gravitationspotential durch die dem Anscheine nach grundverschiedenen Bezeichnungen Wärmequelle, Wärmegefälle und Temperatur, so ergiebt sich, wie dies zuerst W. Thomson darthat, eine vollkommene Analogie in den Formelsystemen, welche einerseits, und ganz unabhängig von einander, für die Massenattraktion und andererseits für die Wärmeleitung aufgestellt worden waren. Und doch soll in ersterem Falle die Wirkung sich durch unermeßliche Räume, im zweiten nur von

Nachbarteilchen zu Nachbarteilchen fortpflanzen. Daraus folgt, daß zwischen den einzelnen Naturvorgängen, mögen sie auf den ersten Anblick auch so gut wie nichts miteinander gemein zu haben scheinen, doch intime Wechselbeziehungen obwalten müssen, und zu deren Aufdeckung hält Maxwell kein Mittel für geeigneter, als eben die Faradayschen Vorstellungen, zumal in dem mathematischen Gewande, in welches sie von W. Thomson gekleidet wurden. So denkt sich denn auch ersterer den ganzen Raum mit Kurven, Kraftlinien angefüllt, und wenn man an eine derselben in irgend einem Punkte eine Tangente legt, so giebt dieselbe die dort gerade vorhandene Kraftrichtung an. Nun aber wird an diesem Begriffe eine wichtige Modifikation angebracht. Faraday hatte blos angedeutet, daß die Stärke der Kraft der Anzahl der durch eine gegebene Fläche passierenden Kraftlinien proportional sei; Maxwell dagegen setzt an den Platz der nur in einer einzigen Dimension ausgedehnten Linien dünne Röhren mit veränderlichem Querschnitte, welche er sich von einer inkompressiblen Flüssigkeit durchflossen denkt. Zwischenräume zwischen diesen Röhren sind nicht vorhanden, und so werden deren Wände zu Flächen, welche die Bewegungsrichtung einer den ganzen Raum erfüllenden Flüssigkeit bestimmen. Es handelt sich demgemäß zuerst darum, von der Bewegung einer unzusammendrückbaren Flüssigkeit ein geometrisches Bild zu bekommen, wenn erstere als ein System von Einheitsröhren definiert werden kann. Auch soll die strömende Bewegung eine stationäre, die Geschwindigkeitskomponenten sollen von der Zeit unabhängig sein. Ein System von Flächen, welche durchweg senkrecht auf der ersten Schaar verlaufen, teilt zusammen mit diesen die einzelne Fläche in einfach unendlich viele Elemente von vierseitiger Gestalt; zwei gegenüberliegende Seiten sind immer Kraftlinien, die beiden anderen Stücke sind Stromlinien, und die Tangenten der letzteren signalisieren die jeweilige Strömungsrichtung. Eine Anzahl Stromlinien erfüllt stets eine Stromröhre. Diese, wie man sieht, nur eine Ausgestaltung des Faradayschen Systemes darstellenden Festsetzungen reichen nun für Maxwell hin, die Theorie der Bewegung einer imponderablen Flüssigkeit durch ein widerstehendes Mittel hindurch zu entwickeln,

und diese wieder dient ihm dazu, statische Elektrizität, permanenten Magnetismus, magnetische Induktion und stationäre elektrische Strömung dem gleichen Gedankengange und den gleichen Anschauungsbildern anzupassen.

Um nur beim Magnetismus einen Augenblick zu verharren, so wird die ältere Vorstellung, daß jeder Magnet aus Elementarmagneten bestehe, welche durch den Magnetisierungsakt erst in den Zustand der Polarisierung geraten, durch eine wesentlich analoge ersetzt: Die erwähnten Zellen, in deren Flächen bezüglich die Kraft- und Stromlinien verlaufen, hängen kontinuierlich zusammen, und so strömt die unwägbare Flüssigkeit, welche in diesem Falle den Träger der magnetischen Flüssigkeit bildet, aus einer Zelle in die andere. Jede derselben hat, wenn wir uns der schon eingangs dieses Abschnittes gebrauchten Kunstausdrücke erinnern, eine Quell- und eine Sinkstelle, und diese Stellen können demzufolge auch an die Oberfläche verlegt werden, wo sie mit den Polen zusammenfallen. Auch der Gegensatz von Para- und Diamagnetismus wird jetzt verständlich. Gesetzt, an den Quellstellen sei Nordmagnetismus, an den Sinkstellen — nach Boltzmann Vernichtungsstellen — sei Südmagnetismus zu finden; wenn dann ein paramagnetischer, d. h. normal magnetischer Körper sich in der Nähe eines Nordpoles befindet, so wird der Eintritt der vom Magneten ausgesandten Kraftlinien in jenem eine Sinkstelle und am anderen Ende eine Quellstelle erzeugen, und da die letztere weiter entfernt ist, so wird eine Anziehung die Folge sein. Der paramagnetische Körper hat eben, wie dies schon Faraday vermutete, die auslaufenden Kraftlinien weit bereitwilliger aufgenommen, als das seine Umgebung that. Es kann jedoch auch der umgekehrte Fall eintreten, und wenn dann wieder die Kraftlinien in diesen schlechteren Leiter eintreten, so steht der Sinkstelle des Magneten auch wieder eine Sinkstelle des Leiters gegenüber, und infolge der damit verbundenen Abstoßung stellt sich der beeinflußte Körper in jene zur Polachse des Magneten senkrechte Richtung ein, die den Diamagnetismus kennzeichnet.

Es kann umsoweniger unsere Absicht sein, den siegreichen Zug der Maxwellschen Theorie durch das weite Gebiet der Lehre von

den imponderablen Flüssigkeiten hindurch zu verfolgen, da eine bloße Wortbeschreibung zwar in den meisten Fällen möglich, aber doch ohne den Rückhalt der Formel oft sehr umständlich ausfallen müßte. Wie man sieht, wurden in den ersten Veröffentlichungen die gebräuchlichen Symbolisierungen dessen, was uns die Sinne von den Erscheinungen lehren, einstweilen beibehalten; es wurde noch von Anziehung und Abstoßung gesprochen, obwohl damit nur ein gewisses Verhalten der Kraftröhren gemeint war. Aber über die Ursache der magnetischen und elektrischen Phänomene war nichts ausgesagt worden; der Versuch, eine noch tiefer gehende Aufklärung herbeizuführen, setzte die Zulassung einer weiteren Grundeigenschaft der Materie voraus, wie dies auch die Atomistiker hatten thun müssen. So entstand der Maxwellsche Molekularwirbel oder, wie man wohl auch sagt, das Wirbelatom, wiewohl letzterer Name leicht zu Mißverständnissen führen kann. Man hat sich die Kraftlinien von Wirbeln umgeben zu denken, deren Haupteigenschaft sich folgendermaßen angeben läßt: Auf der an die Kraftlinie gezogenen Berührenden sei ein Pfeil markiert, welcher in gewohnter Richtung die Kraftrichtung darstellt; blickt dann ein Auge längs des Pfeiles nach der Spitze desselben hin, so vollzieht sich für dieses Auge die rotatorische Bewegung in jedem Elementarwirbel im Sinne des Uhrzeigers. In der achsialen Richtung wirkt alsdann die dem Begriffe der Kraftlinie entsprechende Zugkraft, und in der auf ersterer normal stehenden äquatorialen Richtung wirkt eine durch die Wirbelung ausgelöste Druckkraft. Jeder Wirbel kann als bipolar betrachtet werden, denn der Drehsinn in ihm ist ein verschiedener, je nachdem man vom einen oder vom anderen Ende der Wirbelachse her auf ihn blickt. Diese Molekularwirbel haben also bereits im Jahre 1861 Maxwell zu einer in sich abgeschlossenen Erklärung aller in das weite Gebiet des Magnetismus, der statischen und der dynamischen Elektrizität gehörigen Erscheinungen verholfen und auch bei der neuen, elektromagnetischen Interpretation der in die Optik gehörenden Thatsachen mitgewirkt. Unter dem erkenntnistheoretischen Gesichtspunkte ist gegen das mehrfach erhobene Bedenken, ob man eine solch komplizierte Anordnung der natürlichen Vorgänge für zulässig

halten dürfe, die prinzipielle Stellungnahme zu betonen, die Gustav Robert Kirchhoffs Darstellung der mechanischen Grundlehren kennzeichnet, und deren schon der Anfang dieses Abschnittes gedachte. Es ist nicht unsere nächste Aufgabe, das innere Spiel der Naturkräfte wirklich zu erkennen, was gegenteils vielleicht eine überhaupt für den Menschen transzendente Sache wäre; wir müssen uns vielmehr zunächst daran genügen lassen, die sinnenfälligen Aktionen möglichst genau und einfach zu beschreiben. Leisten dies die Molekularwirbel ebenso gut oder besser als die ältere atomistische Anschauungsweise, so ist deren Berechtigung in sich selbst nachgewiesen. Vielleicht werden jedoch diese neu eingeführten Atome mit denjenigen, die in der Physik und noch mehr in der Chemie das Feld behaupteten, dereinst noch zu einer höheren Einheit verschmolzen werden.

Wir könnten hiermit unsere Besprechung des Übergangszeitalters, in dem sich eine völlig neue Auffassung der gangbaren naturwissenschaftlichen Begriffe und Ideen teils entwickelte, teils auch bereits sieghaft durchsetzte, einstweilen abbrechen, wenn es uns nicht geraten schiene, der inneren Kontinuität halber auch noch eine sonst ziemlich isoliert dastehende Phase des allgemeinen Entwicklungsprozesses heranzuziehen, deren Geschichte besonders deutlich zeigt, wie unsäglich schwer es auch in unserer Zeit oft noch hält, daß das Recht, vom gewohnten Wege abzugehen, nur nicht geradezu grundsätzlich bestritten werde. Helmholtz sagt, unsere jüngere Generation vermöge sich nicht mehr recht klar zu machen, welche Hindernisse zur Zeit ihres ersten Auftauchens die uns jetzt so selbstverständlich erscheinende Lehre, daß der Energievorrat der Welt sich weder vermehren noch vermindern könne, in allen Kreisen zu überwinden hatte; R. Mayers Schicksale haben uns eine treffende Illustration dieser Thatsache geliefert. Kaum viel anders erging es J. W. Hittorf, als er in den Jahren 1853, 1856 und 1858 seine Zergliederung des Wesens der Elektrolyse, von welcher unser achter Abschnitt gehandelt hat, der wissenschaftlichen Welt vorlegte. Er stieß auf den allerheftigsten Widerstand, und es entspann sich darüber eine in mancher Beziehung höchst unerquickliche Polemik, die aber, wie W. Ostwald (geb. 1853)

meint, „als ein lehrreiches Kapitel zum intellektuellen Trägheitsgesetze“ gleichwohl nicht ganz unvergessen bleiben darf. Und doch knüpfte Hittorf, wie die Einleitung zu seinem Abhandlungszyklus darlegt, an eine schon weit früher, unmittelbar nach dem Bekanntwerden der ersten Versuche über Wasserzersetzung, von Th. v. Grotthuß (1785—1825) gegebene Erklärung an, die damals keinen besonderen Staub aufgewirbelt hatte. Derselbe hatte, worauf wir auch bei unserer Skizzierung der Arbeiten von Nicholson und Carlisle bereits anspielten, klar erkannt, daß reines Wasser kein Elektrolyt sei, sondern daß, wenn trotzdem die bekannte Zerlegung in Sauerstoff und Wasserstoff vor sich geht, daran das Vorhandensein an sich fremdartiger Substanzen die Schuld trage. Die Elektroden, denen man ursprünglich nur eben sozusagen die Bedeutung von Gelegenheitsmachern zuerkennen wollte, spielen in Wirklichkeit eine bei weitem einflußreichere Rolle, und v. Grotthuß that einen Schuß ins Schwarze, als er den sonderbar klingenden Satz aufstellte: Könnte man ohne eintauchende metallische Leiter einen geschlossenen Strom im Wasser entstehen lassen, so würde zwar jedes in den Stromkreis eingeschaltete Wasserteilchen zerlegt, aber im nämlichen Momente auch schon wieder zusammengesetzt werden, und das Wasser würde bleiben, was es ist. Die weiteren Schlüsse des genannten Physikers decken sich dann allerdings nicht mehr mit der Wirklichkeit, aber Faraday nahm den Ersterem entfallenen Faden wieder auf und erklärte mit Bestimmtheit, daß der Elektrolyt den Strom selbst leite und dadurch der chemischen Zersetzung anheimfalle. Nach Hittorf, der die vorerwähnte Deutung des Magnetisierungsaktes — Umrichtung der bis dahin neutral verbliebenen Elementarmagnete — auf die hier in Mitte liegenden Aktionen überträgt, muß man annehmen, daß in jedem Moleküle des zu zersetzenden Körpers von Hause aus Kationen und Anionen vereinigt sind, ohne gegeneinander eine bestimmte Lage einzunehmen. Mit dem Eintritte des Stromes durch die Elektroden ist eine Richtung dieser Jonen verbunden; das Kation wendet sich der Kathode, das Anion wendet sich der Anode zu. Dies ist jedoch nur ein vorübergehender Zustand; die Moleküle lösen sich unter der Einwirkung

des Stromes auf und geraten ins Wandern, so daß alle Kationen auf die Kathode, alle Anionen auf die Anode zustreben. Die Geschwindigkeit dieser Wanderung wird aber, je nach der besonderen Zusammensetzung des Elektrolyten, eine verschiedene sein, und nach den Wegen, welche die verschiedenen Jonen in gleicher Zeit zurücklegen, richten sich die Mengen der an den Polplatten sich abscheidenden Grundstoffe. Gesetzt, es lege das Anion den dritten Teil, das Kation dagegen zwei Drittel des ganzen Weges zurück, so enthält nach der Zersetzung die der Anode anliegende Flüssigkeit $^1/_3$ Äquivalent des Anions mehr, $^2/_3$ Äquivalent des Kations weniger als vor jenem Akte. Hittorfs Versuchsreihen, bei denen grundsätzlich die von den englischen Forschern bevorzugte Anwendung einer tierischen Membran, durch welche die wandernden Teile hindurchgehen mußten, vermieden war, gaben über die quantitativen Konsequenzen der Jonenwanderung genauen Aufschluß. Aber es wurde auch der Prozeß der Zerlegung selbst durchsichtiger gemacht, und es ergab sich, daß die Elektrolyte sich, mögen sie nun geschmolzen oder gelöst sein, ganz wie metallische Leiter verhalten. Die Ausscheidung von Sauerstoff und Wasserstoff an den Elektroden ist eine sekundäre Erscheinung, wofür Faradays und Daniells Studien bereits mannigfache Anhaltspunkte geliefert hatten. Es war vornehmlich diese letztere These, welche den Widerspruch entflammte. Man hielt auch der neuen Theorie deren vermeintliche Unverträglichkeit mit dem Ohmschen Gesetze entgegen, und es ist ja nicht zu leugnen, daß die Unterscheidung der stärkeren und schwächeren Jonen, kraft deren Hittorf jenen Einwand zu beseitigen bestrebt war, nicht so leicht verstanden werden konnte. Es schien eben die physikalische Chemie einer gewissen Unsicherheit zu verfallen, wenn sich der die Summe der neuen Untersuchungsmethode ziehende Satz bewahrheitete: „Die Jonen eines Elektrolyten können nicht in fester Weise zu Gesamtmolekülen verbunden sein.“

Und doch hat gerade hier jene Fortbildung eingesetzt, welche die Jonentheorie neuerdings dem skandinavischen Physiker A. Svante Arrhenius (geb. 1859), wie erwähnt, verdankte. Freilich ist es auch diesem nicht leicht geworden, sich Gehör zu verschaffen, aber in unseren Tagen beginnt man doch mehr und mehr, auch sogar in Hochschul=

vorträgen, die Elektrolyse in Gemäßheit des von Hittorf und Arrhenius vorgezeichneten Gedankenganges abzuhandeln. Und Ersterem wurde die Genugthuung zu teil, nach langen Jahren eine Jugendarbeit, die sich keiner freundlichen Aufnahme zu erfreuen gehabt hatte, einer Wiedergabe in der Sammlung der „Klassiker" gewürdigt zu sehen. Die Geschichte einer jeden Wissenschaft ohne Ausnahme führt uns solche Beispiele später Anerkennung vor, und es ist kein Wunder, daß sich dieselben besonders häufig da finden, wo der geistige Kampf der Natur der Sache nach ein besonders lebhafter zu sein pflegt: In der Geschichte der naturwissenschaftlichen Prinzipienlehre.

Zwölftes Kapitel.

Der Werdegang der Spektralanalyse.

Weittragende theoretische Konzeptionen haben, das ging aus verschiedenen Partien des vorhergehenden Abschnittes hervor, in der Praxis ihre Quelle gehabt und sich dafür wieder, als wollten sie dafür ihren Dank abstatten, auch der Praxis unmittelbar förderlich erwiesen. Carnot und Clapeyron drückten die Einzelvorgänge, aus denen sich das Spiel einer arbeitenden Dampfmaschine zusammensetzt, durch deutliche Beschreibungen in Worten und diese sodann durch Formelreihen aus, und diese wieder ermöglichten das volle Verständnis der analogen Prozesse auch bei Maschinen, deren Kraftquelle eine ganz andere war, wie sich dies zum Beispiel bei der von dem schwedisch-amerikanischen Ingenieur J. Ericsson (1803—1889) im Jahre 1855 hergestellten Heißluftmaschine zeigte, deren Erklärung gar keine neuen mechanischen Lehrsätze erforderte. Auch die große, teilweise als Entdeckung und teilweise auch als Erfindung auftretende Neuerung, mit welcher die gelehrte Welt gegen Ende der fünfziger Jahre überrascht wurde, trägt ein solches Gepräge; die Spektralanalyse ist ein Kind der praktischen Dioptrik, aber bald wuchs sie über diesen ihren einfachen Ursprung ganz ungeheuer hinaus, und ein besonderer Abschnitt schien ihr schon wegen der vielfältig anregenden Einwirkungen eingeräumt werden zu müssen, welche von ihr auf die wichtigsten Zweige der anorganischen Naturwissenschaft, auf Physik, Chemie und Astronomie, ja durch das Medium der letzteren sogar auf die der Geologie verwandte Weltenbildungslehre, ausgegangen sind und noch ununterbrochen ausgehen.

Der bekannte Bergmann Georg Agricola, der in seinem über den Durchschnitt des Zeitalters weit hervorragenden Werke „De re metallica“ (1556) seinen Berufsgenossen ein wertvolles Hilfsbuch in die Hände gab, erklärt es in seiner naiven Weise für wahrscheinlich, daß man aus der Färbung einer Flamme die darin verbrennende Substanz zu erkennen lernen werde. Seine Erwartung ging in Erfüllung, aber es dauerte lange, bis die Mittel vorlagen, den richtigen Gedanken der Verwirklichung entgegenzuführen, und auch als längst schon das Spektrum des Prismas dazu benützt wurde, tiefere Untersuchungen über das Licht anzustellen, dachte noch niemand daran, diesen einfachen Glaskörper zum Range eines feinen chemischen Apparates zu erheben. Auf dem richtigen Wege war Th. Melville, der im Jahre 1752 gefärbte Flammen der prismatischen Zerlegung unterwarf und die Verschiedenheit der so entstehenden Spektren bemerkte. Eine energischere Annäherung an diesen gewaltigen Fortschritt bemerken wir in einer Studie des englischen Physikers W. A. Miller (1817 bis 1870), die 1845 erschien und die absorbierende Wirkung gefärbter Flammen und Gase auf das durch sie hindurchgehende Licht prüfte. Es war der erste Versuch dieser Art und lieferte noch keine besonders in die Augen fallenden Ergebnisse. Nur ein gelegentlicher Ausspruch hätte weitere Verfolgung verlohnt; Miller sprach nämlich „gewissen Atmosphären“ die Fähigkeit zu, eine positive Absorptionswirkung auf Licht andersartigen Ursprunges ausüben zu können. Die nach modernen Begriffen jetzt gar nicht mehr so weit abliegende Ausdehnung dieser Wahrnehmung auf die vom Sonnenspektrum dargebotenen Erscheinungen wäre 1855 beinahe Millers Landsmanne Swan (geb. 1818) gelungen, aber wie sich dies in der Vorgeschichte großer Erkenntnisfortschritte nicht selten zeigt, so hielt letzterer gerade an der Stelle an, die das entscheidende Wort nötig machte, und entschied sich dafür, daß es nicht angehe, die hellen Linien der Flammenspektren als durchaus mit dunklen (Fraunhoferschen) Linien des Sonnenspektrums zusammenfallend anzunehmen. Direkt erklärte er sogar eine solche Koinzidenz für unwahrscheinlich. Auch A. J. Ångström (1814—1874), dem späterhin eine Führer-

rolle in der Ausbildung des neuen Wissenszweiges beschieden war, wollte 1855 die Konstanz der Spektrallinien, auf welche es hauptsächlich ankommt, nicht oder doch nur sehr bedingt anerkennen. Weit näher kam der bahnbrechenden Erkenntnis der geniale Mathematiker Julius Plücker (1801—1868), der seine tiefen, aber von der Mitwelt nicht recht verstandenen geometrischen Forschungen kurz zuvor unmutig verlassen hatte und sich nun viele Jahre lang ausschließlich der Experimentalphysik widmete, um erst am Abende seines Lebens zu seiner Jugendliebe zurückzukehren. Sein getreuer Mitarbeiter, der Bonner Universitätsmechaniker H. Geißler (1814 bis 1879), hatte seit 1854 die berühmten, seinen Namen allen Zeiten überliefernden Röhren aus Glas zu konstruieren angefangen, welche, verschiedenartig geformt und mit Gasen im Zustande denkbarster Verdünnung angefüllt, im Lichte des durchschlagenden galvanischen Funkens die jetzt auch dem Laienpublikum bekannten, wunderbaren Lichterscheinungen ergeben. Diese Geißlerschen Röhren boten Plücker willkommene Gelegenheit, die Zerlegungskraft des Prismas auch an einem neuen Objekte von ungewöhnlicher molekularer Beschaffenheit zu erproben. Er überzeugte sich, daß ein und dasselbe Gas auch immer das nämliche Spektrum produzierte, so daß also mit Eindeutigkeit von der Art des Spektrums auf die Natur des erzeugenden Gases geschlossen werden konnte. Allein Plücker blieb zunächst bei dieser immerhin noch vereinzelten Beobachtung stehen und unterließ es, dieselbe weiter auszubeuten. Überaus erwähnenswert ist auch, was Talbot, der Miterfinder der Photographie, bereits 1826 äußerte, und man hat wirklich den Eindruck, daß derselbe schon den Vorhof des Mysteriums hinter sich hatte und nur die Hand auszustrecken brauchte, um den Vorhang von dem verschleierten Bilde herabzuziehen. Er hielt dafür, daß gewisse Körper auch ihre besonderen Linien im Spektrum zugeordnet besäßen, und sprach daraufhin die prophetischen Worte: „Wenn diese Ansicht sich als richtig herausstellen und als auf andere bestimmte Linien anwendbar ergeben sollte, so würde ein Blick auf das prismatische Spektrum einer Flamme genügend sein, um darzuthun, daß Substanzen vorhanden sind, welche sonst nur durch mühsame chemische Analyse

nachzuweisen wären." Viel klarer könnte sich auch ein moderner Schriftsteller auf den ersten Seiten eines der Spektralanalyse gewidmeten Lehrbegriffes kaum ausdrücken.

Man sieht, die Spektralanalyse „lag in der Luft", um eine etwas triviale Wendung zu gebrauchen, die jedoch diesmal den Sachverhalt vollkommen treffend umschreibt. Kein geringerer als Helmholtz hat diesem selben Gedanken einen entsprechenden Ausdruck verliehen. Viele andere Forscher sind, so äußert er sich, am Rande der Entdeckung gestanden und haben den Schritt über den Rand weg nicht gethan, der uns Epigonen als etwas so selbstverständliches anmutet, und den wirklich zu thun eben doch nur Sache des Genies, diesmal sogar des zu gemeinsamem Thun vereinigten Genies zweier gleich bedeutenden Menschen, sein konnte. Dem Historiker liegt es ob, auch die Vorgeschichte einer bedeutsamen neuen Erkenntnis gebührend zu würdigen und den im Vorspiele als handelnde Personen auftretenden Männern das Verdienst, welches der Vorbereitung und Anbahnung des Fortschrittes zukommt, zuzuerkennen. Allein vor einer Verwechslung zwischen Vorspiel und Hauptaktus haben wir uns zu hüten, und daran zu erinnern halten wir insbesondere deshalb für geboten, weil man in England anders dachte, wo ja überhaupt eine so bereitwillige Anerkennung auswärtigen Verdienstes, wie sie uns oben bei Tyndall begegnete, nicht gerade die Regel bildet. Weil J. Herschel, Brewster, Miller, Swan und — mehr in rein theoretischer Richtung — Stokes das Studium der von verschiedenen leuchtenden Körpern gebildeten Spektren unleugbar erheblich gefördert haben, war Tait, dessen ungerechtes Verhalten gegen R. Mayer ihm angeführtermaßen eine Berichtigung von Helmholtzscher Seite zuzog, sofort geneigt, „die Geburt der Spektralanalyse" auf das Jahr 1850 zu verlegen. Dies steht jedoch ganz im Widerspruche mit den obersten Leitsätzen einer gesunden Historiographie, und gerade wenn G. Stokes (geb. 1819) und W. Thomson nach Taits Ansicht bereits in jenem Jahre eine fundamentale Entdeckung gemacht hätten, ohne sich dessen auch wirklich bewußt zu werden, so wäre eben damit ausgesprochen, daß die entscheidende Schlußhandlung noch ausgeblieben war. Denn als der Mann, in

dem wir mit vollem Rechte einen der Entdecker verehren, diesen letzten Schritt that, da war ihm dessen Tragweite auch nicht mehr verborgen.

Nur zwei Oktavseiten umfaßt die Note, in welcher 1859 Kirchhoff der Berliner Akademie Mitteilung von den Beobachtungen machte, die von ihm und seinem Heidelberger Kollegen angestellt worden waren, aber diese zwei Seiten sind entscheidend für die Prioritätsfrage. Aus diesem Grunde dürfen wir wohl etwas länger bei dieser wichtigen Etappe in der Geschichte der Physik verweilen. Die Fraunhoferschen Linien hatte man bislang als eine Thatsache hingenommen und sich wesentlich darauf beschränkt, ihre gegenseitige Lage möglichst genau zu bestimmen, aber ihre Herkunft war noch nicht aufgeklärt. Kirchhoff und Bunsen ließen nun, nicht etwa von ungefähr, sondern weil sie sich vorgenommen hatten, aus dem Spektrum einer Lötrohrflamme die qualitative Zusammensetzung von Gemengen zu erschließen, die Sonnenstrahlen, ehe sie auf den Spalt des — unlängst auch erst von Kirchhoff verbesserten — Spektralapparates fielen, durch eine Kochsalzflamme treten, und da erhielten sie statt jener beiden dunklen Streifen, die in Fraunhofers Nomenklatur den Buchstaben D führen, zwei helle Linien. Allerdings durfte das Sonnenlicht jenes, in welchem die Kochsalzprobe erglühte, nicht allzu sehr an Helligkeit überstrahlen; war letzteres der Fall, so traten die Linien D mit besonderer Deutlichkeit hervor. Hierdurch veranlaßt, unterzogen die beiden Forscher jenes überaus helle Kalklicht der Untersuchung, dessen Entstehung Kapitän Th. Drummond (1797—1840) zur Erzielung greller Lichteffekte im Jahre 1826 vorgeschlagen, und welches sich seitdem auch in der Anwendung oftmals bewährt hatte. Sofern der ins Glühen zu versetzende Kalkzylinder noch nicht lange Zeit leuchtet, wird das Spektrum des entsprechenden Lichtes durch die beiden hellen Natriumlinien bestimmt; nach Maßgabe der Zunahme der Glühhitze werden sie schwächer und verschwinden endlich ganz. Wenn letzteres eingetreten, so bedarf es bloß der Einschiebung einer Kochsalz verzehrenden Weingeistflamme, um an Stelle fraglicher heller Linien zwei dunkle hervortreten zu lassen, die wiederum mit den Streifen D identisch sind, obwohl das Spektrum, dem sie an-

gehören, zunächst mit dem Sonnenspektrum gar nichts zu thun hat. Ein dritter Versuch galt dem Chlorlithium, welches man in dem seit einiger Zeit den Physikern und Chemikern die ersprießlichsten Dienste leistenden Bunsenschen Gasbrenner zum Verflüchtigen brachte und das, je nach dem Beleuchtungsgrade, entweder eine helle oder eine dunkle Linie lieferte.

Die Worte, mit denen Kirchhoff das Fazit aus diesen neuen und in ihrer Neuheit auch gleich richtig abgeschätzten Beobachtungen zog, wird man zweifellos gerne im Originale lesen, und so mögen sie denn auch hier stehen. „Ich schließe aus diesen Beobachtungen, daß farbige Flammen, in deren Spektrum helle, scharfe Linien vorkommen, Strahlen von der Farbe dieser Linien, wenn dieselben durch sie hindurchgehen, so schwächen, daß an Stelle der hellen Linien dunkle auftreten, sobald hinter der Flamme eine Lichtquelle von hinreichender Intensität angebracht wird, in deren Spektrum diese Linien sonst fehlen. Ich schließe weiter, daß die dunklen Linien des Sonnenspektrums, welche nicht durch die Erdatmosphäre hervorgerufen werden, durch die Anwesenheit derjenigen Stoffe in der glühenden Sonnenatmosphäre entstehen, welche in dem Spektrum einer Flamme helle Linien an demselben Orte erzeugen." In diesen zwei Sätzen verbirgt sich die den Keim einer neuen Disziplin, eben der Spektralanalyse, enthaltende Lehre von der Umkehrung des Spektrums; den hellen Linien der Flammenspektra entsprechen die dunklen des Sonnenspektrums, die damit als Absorptionsstreifen gekennzeichnet sind. Die rote Lithiumlinie ist im Sonnenlichte nicht ausgelöscht worden; man muß mithin dafürhalten, daß dieses Element der Sonnenphotosphäre fehlt, oder daß es doch, wie Kirchhoff vorsichtig hinzusetzt, dortselbst nur in verhältnismäßig geringer Menge vertreten ist. Eine Zusatzbemerkung, die ganz ebenso für die Vorsicht des Autors bezeichnend ist, bedarf noch einer kurzen Aufklärung. Durch F. Zantedeschi (1797—1873) war auf gewisse Spektralstreifen hingewiesen worden, die bei niedrigem Sonnenstande sich bemerklich machen und eben aus diesem Grunde, weil dann die Lichtstrahlen einen längeren und gekrümmteren Weg in der Lufthülle zu beschreiben haben, sich als Gebilde atmosphärischen Ursprunges verraten. Der violette Teil des Spektrums

wird unsichtbar; gegen das mindest brechbare Ende hin erscheinen dagegen Absorptionslinien, die sich ab und zu sogar als breite Bänder darstellen. Die eine rein terrestrische Herkunft dieser Linien beweisenden Arbeiten von J. H. Gladstone (geb. 1827) sind zwar etwas später als Kirchhoffs grundlegender Bericht an die Akademie erschienen, aber es wird doch auch schon in diesem der Frage, über die ja allerdings noch keine Entscheidung gefallen war, in geeigneter Weise Rechnung getragen.

Obwohl, wie das aus den Erklärungen Kirchhoffs erhellt, sämtliche Versuche und Beobachtungen von beiden Männern gemeinschaftlich vorgenommen wurden, so nahm doch in der ersten Zeit ersterer allein das Wort vor der Öffentlichkeit. Noch vor Schluß des Jahres 1859, in dem wir fraglos das Jahr der Entstehung der Spektralanalyse anzuerkennen verpflichtet sind, ließ er der Akademie eine zweite, wiederum nur gedrängte Mitteilung über einen Erfahrungssatz zugehen, der ihm die wahrgenommenen Thatsachen bündig zu erläutern schien, und der als Kirchhoffsches Theoreme an dem gegenüber der ursprünglichen Fassung freilich einige Änderungen angebracht werden mußten, für alle Zeiten die Grundlage der wissenschaftlichen Spektroskopie abgeben wird. Es ist ohne Zweifel möglich, so beginnt die Erörterung, sich einen Körper vorzustellen, der, wenn beliebig viele leuchtende und dunkle (Wärme-) Strahlen auf ihn fallen, nur Strahlen von einer ganz bestimmten Wellenlänge aussendet und gleicherweise nur Strahlen von gleicher Wellenlänge verschluckt. Wird dies zugegeben, so läßt sich weiter zeigen, daß für Strahlen derselben Wellenlänge und bei gleicher Temperatur allen Körpern ein konstantes Verhältnis des Emissions- zum Absorptionsvermögen zukommt. Die mathematischen Überlegungen, die für die Begründung erforderlich sind, zeichnen sich durch ihre Einfachheit aus und gehen nicht über die Lehre von den geometrischen Progressionen hinaus. Das erwähnte Verhältnis hängt nur von Wellenlänge und Temperatur ab; aus der bloß generellen Betrachtung der betreffenden Funktion muß man schließen, daß mit dem Absorptionsvermögen auch das Vermögen zunimmt, Licht auszusenden. Undurchsichtige Körper erglühen bei niedrigerer Temperatur,



Gustav Robert Kirchhoff

A. Weger sculps.

wogegen die durchsichtigen Gase erst bei viel höherer Temperatur in diesen Zustand geraten. Aus älteren und neueren Konstatierungen über das Spektrum des elektrischen Funkens, die neben Wheatstone und Ångström vornehmlich A. P. Masson (1806—1860), dem Begründer der elektrischen Photometrie, zu danken waren, glaubt Kirchhoff folgern zu dürfen, daß zu den auf der Sonne vorkommenden Urstoffen jedenfalls das Eisen gehört, und zwar läßt er ganz gelegentlich die doch auch nichts weniger als gleichgiltige Bemerkung fallen, daß eine ganze Anzahl von dunklen Linien des solaren Spektrums sich mit hellen Linien des Eisenspektrums decke; zu den ersteren gehört an erster Stelle das E in dem von Fraunhofer angegebenen alphabetischen Schema.

Bestätigte sich die Entdeckung der Heidelberger Forscher, so war damit zugleich unserer früheren Angabe zufolge eine Erfindung allerersten Ranges gegeben: Man konnte aus dem Lichte eines leuchtenden Körpers mittelst spektroskopischer Zerlegung auf dessen chemische Zusammensetzung schließen, und der analytischen Chemie war ein Erkenntnismittel von bis dahin noch unerreichter Feinheit zur Verfügung gestellt. Zu diesem Ende aptierten Kirchhoff und Bunsen den bereits vorhandenen Spektralapparat derart, daß er möglichst exakte Ortsbestimmungen der einzelnen Linien zuließ, und untersuchten die Spektren einer Menge chemischer Elemente und Verbindungen, und zwar in der Weise, daß sowohl die Glühflamme als auch die darin zum Glühen gebrachten Substanzen variierten. Allein wie auch der chemische Prozeß und die Temperatur wechseln mochten, immer blieb die Lage der Linien der einzelnen Metalle — auf diese kam es vor allem an — die gleiche. Und wenn im Spektrum der durch eine Geißlersche Röhre hindurchgehenden Funken andere, zuvor noch nicht gesehene Linien auftraten, so waren dieselben entweder auf fremde, vielleicht unbekannte Metalle oder auf das die Röhre erfüllende Gas zurückführen. Damit war also die chemische Verwendbarkeit der neuen Methode außer Zweifel gesetzt, und auch die astrophysikalische Anwendung ließ sich schon sicher herausfühlen, nachdem die räumliche Identifizierung der Streifen für Natrium, Kalium, Strontium, Barium und Calcium mit Fraunhoferschen

Linien gesichert erschien. Man begnügte sich jedoch nicht, das spektroskopische Verfahren an Stoffen zu erproben, mit denen die Wissenschaft schon früher, und auf anderem Wege, Bekanntschaft geschlossen hatte, sondern Bunsen stellte 1860 und 1861 im Caesium und Rubidium auch zwei neue Alkalimetalle und Elemente dar, von deren Existenz man nichts gewußt hatte. Die chemischen Reaktionen, welche bislang das wertvollste Mittel zur Unterscheidung unbekannter Stoffe an die Hand gegeben hatten, sind denen der Kaliumsalze so ähnlich, daß ohne die wunderbare Hilfe des Lichtes jene beiden Individualitäten sich vielleicht noch lange unter erborgter Hülle versteckt haben würden. Auch für das Lithium, welches unter anderem als Bestandteil der Zigarrenasche auftritt, wurden neue Darstellungen ermittelt. Und wieder dauerte es nur ein Jahr, da gesellte sich den vorhandenen noch ein fünftes Metall der Alkalireihe hinzu, das Thallium, um dessen Einordnung in die Liste der Metalle sich W. Crookes (geb. 1832) und C. A. Lamy (1820—1878) verdient machten. Einen analogen Fortschritt brachte das Jahr 1862, indem, wieder durch seine charakteristischen Linien, das Element Gallium von zwei Freiberger Amtsgenossen, dem Chemiker R. J. Richter (1823—1869) und dem uns schon wiederholt entgegengetretenen Physiker Reich, als solches erkannt ward. Es bildet einen regelmäßigen Begleiter gewisser Zinkerze und besitzt große Ähnlichkeit mit dem Aluminium, gerade wie auch das Indium, dessen Identitätsnachweis — ein neuer, wenn auch schon späterer Triumph der Spektralanalyse — dem französischen Chemiker P. F. Lecoq de Boisbaudran (geb. 1838) im Jahre 1875 gelang. Zum guten Teile war durch diese Entdeckungen die Reihe der Elemente abgeschlossen, und man wäre fast auf die Vermutung geführt worden, daß noch weitere derartige Funde nur durch die zerlegende Kraft des Lichtstrahles zu bewerkstelligen sein möchten. Es wäre dies aber eine Überschätzung des freilich überaus fruchtbaren Untersuchungsmittels gewesen, denn wie unsere Verfolgung der Chemie in der zweiten Jahrhunderthälfte ausweisen wird, ist eine neue große Errungenschaft auf diesem Gebiete recht eigentlich ein Produkt chemischer Denkkraft und erst in zweiter Linie auch ein solches der vervollkommneten praktischen Methoden gewesen.

Der Spektralapparat, mit dem Bunsen und Kirchhoff ihre ersten großen Ergebnisse erzielten, war noch ein verhältnismäßig einfach gebautes Instrument gewesen. Erst jetzt, nachdem sich die Notwendigkeit sehr feiner Messungen immer mehr herausgestellt hatte, gab man ihm die Gestalt, in welcher er in allen unseren physikalischen Laboratorien zu finden ist. Eine Horizontalplatte trägt ein Flintglasprisma, dessen brechender Winkel 60° beträgt, und gegen dieses sind drei gleichfalls horizontal mit jener Platte verbundene Rohre a, b und c gerichtet, deren Achsen im Normalzustande unter einander Winkel von 120° bilden. a trägt an dem gegen das Prisma gekehrten Ende eine achromatische Sammellinse und am anderen eine den Spalt enthaltende Platte. Das Rohr b ist ein gewöhnliches Fernrohr von 8—10maliger Vergrößerung. Das dritte Rohr c endlich besitzt am Prisma-Ende ebenfalls eine Sammellinse, am anderen aber eine mit sehr feinem Maßstabe versehene Glasplatte, deren Bild, durch totale Reflexion an der Vorderfläche des Prismas gespiegelt, nach der Achse von b geworfen wird. Der bereits erwähnte Spalt hat eine obere freie Hälfte, während vor der unteren ein kleines, gleichseitiges Prisma sich befindet, mittelst dessen der zu prüfende Strahl in das Rohr a zu leiten ist. So kann es der durch das Okular von b blickende Beobachter, indem er die angebrachten Schrauben geeignet benützt, dahin bringen, daß er gleichzeitig ein Stück des Sonnenspektrums und, unmittelbar darunter, das Spektrum der Bunsen-Lampe erblickt, deren Flamme den Prüfungskörper verzehrt. Das störende obere und seitliche Licht wird durch ein über Apparat und Kopf gedecktes schwarzes Tuch abgehalten, und nun sind mittelst des Maßstabes die feinsten Einstellungen und Ablesungen ermöglicht. Freilich ist noch der Umstand hinderlich, daß die Spektrallinien gar zu nahe aneinander liegen, aber auch ihm wußte Kirchhoff durch eine zweckmäßige Verbreiterung des Spektrums zu begegnen. Die von dem Rohre a kommenden Lichtstrahlen wurden nämlich gezwungen, durch vier in einem Halbkreise angeordnete gleichseitige Prismen ihren Weg zu nehmen, und jedem Durchgange entsprach dann eine Ausdehnung des Lichtbandes und damit auch eine Vergrößerung der Distanz der einzelnen Fraunhoferschen Linien.

Eine so wesentlich verbesserte Vorrichtung mußte denn auch einen tiefen Einblick in die optischen Verhältnisse der untersuchten Objekte und nicht minder in die chemische Struktur der Gase und Dämpfe liefern. Kirchhoff legte den Gesamtinhalt der von ihm und seinem Freunde angestellten Forschungen nieder in der berühmten Abhandlung „Untersuchungen über das Sonnenspektrum und die Spektren der chemischen Elemente“, von welcher die preußische Akademie 1862 eine Separatausgabe veranstaltete. Dieselbe gliedert sich in eine mehr chemische, den vorwiegenden Einfluß Bunsens bekundende und in eine physikalische Abteilung, deren Hauptaufgabe es ist, das schon besprochene Verhältnis von Emissions- und Absorptionsvermögen schärfer zu bestimmen. Es hat sich später, wie M. K. E. Planck (geb. 1858) nachwies, gezeigt, daß die Ausführungen Kirchhoffs, der sich auf einem noch ganz jungfräulichen, unbearbeiteten Boden bewegen mußte, einiger Berichtigung bedürfen, indem jene „schwarzen“ Oberflächen, auf die fortwährend Bezug genommen wird, in Wahrheit nicht existieren oder doch noch nicht exakt genug definiert werden konnten; auch die Annahmen über die Funktion von Wellenlänge und Temperatur, welche das charakteristische Verhältnis der Fähigkeiten, Licht auszuschicken und zu verschlucken, regelt, sind nicht einwurfsfrei. Deswegen bleibt nicht weniger wahr, daß hier die erste mathematische Theorie der Spektralanalyse entwickelt und damit eine Grundlage gelegt worden ist, auf welcher spätere Geschlechter getrost fortbauen konnten. Mehr in die Augen fallend war noch, was Kirchhoff über die Natur der Sonne mitzuteilen wußte. Daß Eisen, Calcium, Magnesium, Natrium und Chrom in größerer Menge, andere Elemente dagegen nur in Spuren den über dem Sonnenkörper schwebenden Dämpfen angehören, mußte man, wollte man nicht die Berechtigung des ganzen Untersuchungsverfahrens in Zweifel ziehen, als Thatsache hinnehmen, so wenig die ganz neue Perspektive, die sich nun eröffnete, so Manchem einleuchten mochte, der ganz in dem — aus unserem fünften Abschnitte bekannten — Wilson-Herschelschen Gedankenkreise befangen war. Die Unhaltbarkeit der physikalischen Vorstellung, es könne über einem dunklen Körper ein Mantel glühender Gase schweben, ohne daß nicht durch Strahlung und

Leitung in relativ kurzer Zeit auch der erstere zum Glühen und Selbstleuchten gebracht würde, ward allmählich in vielen Kreisen zugegeben, und Kirchhoffs Definition der Sonne als eines glühenden, in den äußeren Schichten durch Flüssigkeiten und Gase gebildeten Balles fand allenthalben Anklang. Die Sonnenflecke hörten auf, Risse in der allein leuchtenden Photosphäre zu sein, durch welche man auf die schwarze Sonnenkugel hinabschauen konnte, und verwandelten sich in Schlacken, die auf der brodelnden Sonnenatmosphäre schwammen, lokale Abkühlungsprodukte, bei denen sogar eine vorübergehende Rückbildung in den festen Aggregatzustand nicht ausgeschlossen sein sollte. Wenn auch die Frage, ob denn solche Erstarrungsschollen der auflösenden Kraft der rings um sie her herrschenden Hitze wirklich so lange Widerstand zu leisten befähigt sein könnten, wie es nötig wäre, damit einunddderselbe Fleck durch 27 Tage und länger ziemlich unveränderlich bliebe, zunächst noch nicht gestellt wurde, so ließ sich doch erwarten, daß die erste Sonnentheorie, welche die durchaus unwissenschaftliche Hypothese der Engländer ablöste, auch noch nicht gleich die endgiltige sein würde, und unser astrophysikalischer Abschnitt wird zeigen, daß in der That gerade dieser Gegenstand zu den umstrittensten in der ganzen Lehre von der physischen Beschaffenheit der Himmelskörper gehört. Aber Kirchhoffs Großthat wird dadurch nicht im mindesten geschmälert, daß ihm nicht gleich der erste Wurf entscheidend glückte, und in der Geschichte der Naturwissenschaft glänzt er, vereint mit Bunsen, als der Begründer eines der schönsten und ertragreichsten Wissenszweige der neueren Zeit, als der Begründer der ein Grenzgebiet dreier umfassenden Disziplinen darstellenden Astrophysik.

Die geistige Bewegung, welche sofort durch die ersten Arbeiten der Heidelberger Dioskuren ins Leben gerufen ward, erweist sich als eine tiefgehende und nachhaltige. Um gleich bei einer sehr merkwürdigen Anwendung zu beginnen, erwähnen wir des Studiums der Bessemer-Flamme, wodurch H. E. Roscoe, den wir schon kennen, und etwas später A. Lielegg (geb. 1830) wertvolle Verbesserungen eines technischen Prozesses erzielten. H. Bessemer (geb. 1813) hatte 1856 sich die seinen Namen tragende, wichtige

Verbesserung der Stahlfabrikation patentieren lassen, deren Wesen darin besteht, daß durch das flüssige, in den birnenförmigen „Konverter“ eingeschlossene Roheisen unter hohem Drucke Luft gepreßt wird. Durch die hiermit eingeleitete Oxydation ist eine gewaltige Wärmeentwicklung bedingt, welche eine nahezu vollständige Entkohlung im Gefolge hat. Wenn man nun, wie dies Roscoe, nach dem Zeugnisse seines damaligen Assistenten C. Schorlemmer (1834—1892), bereits 1862 that, das Spektrum der Bessemer-Flamme stetig verfolgt, so wechselt dasselbe rasch sein Aussehen, und das auffallendste Bild gewährt es während einer kurzen Phase, indem alsdann eine große Anzahl von hellen Streifen und dunklen Absorptionsbändern in ihm hervortritt. Erstere weisen teilweise auf Natrium, Kalium und Lithium, letztere auf Kohlenoxyd hin. Bald war Roscoe so weit, neben den genannten Elementen auch noch Kohlenstoff, Eisen, Wasserstoff und Stickstoff als vorhanden zu erkennen. Der Techniker legt nun Wert darauf, den Zeitpunkt, in dem der Kohlenstoff verschwindet, thunlichst scharf fixieren zu können, und da hilft ihm eben das Spektrum, weil der vor dem Spalte sitzende Beobachter nur anzumerken braucht, wann er die Kohlenstofflinie aus dem Gesichte verliert. Vorher mußte man an dem bloßen Aussehen der Flamme diesen Termin zu konstatieren trachten, und daß sich da auch ein geübtes Auge leicht täuschen konnte, leuchtet von selbst ein. Die Spektroskopie hatte hiermit auch schon den drastischen Beweis ihrer technischen Brauchbarkeit erbracht.

Es versteht sich von selbst, daß die Beobachtungen Roscoes auch nach der theoretischen Seite Anknüpfungspunkte boten, denn es erhob sich die Frage, weshalb neben dem Kohlenstoffe, dessen Anwesenheit ja eine durch die Natur des Eisens und des Verbrennungsprozesses gegebene ist, auch andere Stoffe ihr nur zeitweise erkennbares Dasein durch ein ziemlich kompliziertes Spektrum bekunden. Das führt zur Erörterung der Thatsache, daß ganz verschiedene Arten des Spektrums in die Erscheinung treten können. Von Stokes und Ångström war die längst bekannte Analogie zwischen akustischen und optischen Phänomenen auch auf die Lehre vom Spektrum übertragen worden, und man dachte daran, den besonderen, durch die Spektrallinien eindeutig

bestimmten Farbencharakter ganz ebenso durch Molekularschwingungen zu erklären, wie dies bezüglich der Tonhöhe und der Vibrationen des den tönenden Körper umgebenden Mediums längst geschehen war. Die Atome eines chemischen Elementes a haben eine von der des Elementes b verschiedene Schwere, und deshalb wird der Schwingungszustand, in den der Lichtäther durch das Glühendwerden eines beliebigen Elementes versetzt wird, ein für a wie für b charakteristischer, in keinem anderen Falle vorkommender sein; daß das Atom sich im gasförmigen Zustande befinde, ist dabei vorausgesetzt. Glühende Gase senden homogenes Licht aus, und ihnen entspricht ein sogenanntes Linienspektrum. Ein solches gewährt die Möglichkeit, das maßgebende Element sogleich herauszufinden, wogegen beim Bandenspektrum an die Lichtschwingungen von Atomenkomplexen oder Molekülen, wie sie in die chemischen Verbindungen eingehen, zu denken ist. Solche Erwägungen, teilweise auch durch ältere Versuche angeregt, riefen eine Reihe neuer und über das bisherige Ziel hinausgehender Experimentalstudien hervor.

Unter ihnen sind vorzugsweise diejenigen von Plücker, der sich ja seit 1859 selbständig mit den Spektren stark verdünnter Gase befaßte, als methodisch bedeutungsvoll zu nennen. Aus ihnen, an denen auch Hittorf teilnahm, erschloß sich eine unerwartete, anscheinend manche der bisherigen Resultate in Frage stellende Erkenntnis: Einundderselbe Stoff kann unter verschiedenen Umständen auch verschiedene Spektren liefern. Für Wasserstoff, Stickstoff und — natürlich verdampften — Schwefel wurde das Doppelspektrum zuerst dargestellt, aber in Bälde folgten auch andere Körper nach. Ohne auf das technische Detail einzugehen, welches bei der Erzeugung der einen und anderen Gattung maßgebend ist, wollen wir nur soviel bemerken, daß bei niedrigerer Temperatur ein — nach Plücker so benanntes — Spektrum erster Ordnung und bei sehr hoher Temperatur ein Spektrum zweiter Ordnung entsteht, und daß somit durch Wärmezufuhr jenes in dieses umgewandelt werden kann. Ein anderes Untersuchungsfeld wurde erschlossen, als man die kontinuierlichen Spektren, in denen keine bestimmten Linien wahrnehmbar sind,

ins Auge zu fassen anfing. Schon 1864 zeigte H. C. Dibbits (geb. 1838), daß, wenn zwischen Wasserstoff und Sauerstoff das bekannte Gewichtsverhältnis besteht, um daraus durch Verbrennung Wasser zu erhalten, und wenn man ein so beschaffenes Gasgemenge wirklich zum Verbrennen bringt, ein Spektrum der bezeichneten Art sichtbar wird, aus dem sich die Linie keines der beiden mitwirkenden Gase abhebt. Auch für andere gasförmige Verbrennungsprodukte wies der genannte Experimentator das Vorhandensein eines stetigen, von Linien nicht unterbrochenen Spektrums nach. Neues Material brachten Franklands einschlägige Arbeiten, welche insbesondere auch für die seit H. Davy nicht wesentlich geförderte Theorie der Flamme an sich befruchtend wirkten. Man war gewohnt, als nächste Ursachen des Leuchtens einer Kerzen- oder Gasflamme das Aufsteigen fein verteilter, ins Weißglühen versetzter Kohlenpartikeln gelten zu lassen, während Franklands spektroskopische Anatomie des Flammenlichtes näher zu legen scheint, an die stete Verbrennung gasförmiger, sehr kohlenstoffreicher Kohlenwasserstoffe zu denken. Ein glühendes, unter sehr hohem Drucke stehendes Gas muß von allen darauf fallenden Strahlen einige Bruchteile absorbieren, und eben der Umstand, daß der Absorptionsprozeß kein partieller, sondern ein totaler ist, bedingt das Auftreten eines kontinuierlichen Spektrums, welches nur eben, der stattgehabten Verschluckung wegen, kein hell leuchtendes, sondern ein blasses wird.

F. H. A. Wüllner (geb. 1835), mit dem 1866 eine neue Etappe der Spektralforschung anhebt, bedient sich einer bezeichnenderen Namengebung, als es diejenige Plückers war; er spricht von Banden- und Linienspektren, welch letztere Ausdrücke wir ja schon vorhin gebraucht haben, betrachtet die Erscheinungskette damit aber noch nicht als abgeschlossen, sondern macht auch noch auf jene dritte Art von Spektren aufmerksam, die allerdings, wie wir wissen, von Dibbits bereits entdeckt, in Deutschland aber, wenn überhaupt bekannt, noch wenig beachtet worden war. Er zeigte, daß auch Veränderung des Druckes in den einer Geißlerschen Röhre einverleibten Gasen Veränderungen im Spektrum nach sich zieht, ähnlich denen, die man auch bewirken kann, wenn



Robert Wilhelm v. Bunsen

man eine Leidener Flasche in den Strom einschaltet. Durch eine Saugvorrichtung entzog Wüllner dem untersuchten Gase mehr und mehr Quantität, so daß also die im gleichen Raume befindliche Gasmasse unter fortschreitend kleinerem Drucke stand, und als er bis zu 70 mm Druck den Wasserstoff entlastet hatte, zeigte sich eine Andeutung des stetigen Spektrums. Fortschreitende Evakuation ließ dasselbe immer erkennbarer werden, und bei 30 mm Druck offenbarte es sich in seiner größten Reinheit, während eine noch weitere Fortsetzung des Verdünnungsprozesses die drei bekannten hellen Linien zum Erscheinen brachte. Zuletzt nahm aber deren Helligkeit wieder bis zum Verschwinden ab, und es traten aufs neue Spuren des kontinuierlichen Spektrums hervor. Es ist nicht zu verwundern, daß ein so parador erscheinender Wechsel der Spektralbilder Anstoß zu verschiedenen Diskussionen gab, und es war insbesondere Ångström, der den Angaben von Plücker und Wüllner die Behauptung entgegenstellte, es könne aus einem Spektrum der einen Art niemals ein solches einer anderen Art hervorgehen. Indem er unter diesem Gesichtspunkte die Wüllnerschen Beobachtungen, deren thatsächliche Richtigkeit nicht bestritten ward, seinerseits analysierte, sah er sich zu dem Ergebnis geführt, daß die der Prüfung unterstellten Gase anfänglich nicht völlig rein gewesen seien — eine Mutmaßung, die den Praktiker deshalb für sich einzunehmen wohl geeignet ist, weil derselbe nur zu gut weiß, daß troß der unsäglichen, auf Glüh- und Trockenprozeduren verwendeten Mühe sehr leicht winzige Reste fremder Beimengungen an den Gasen, die man isolieren will, haften bleiben. Nur auf solch minimale Spuren käme es aber nach Ångströms Meinung an. Indem derselbe die Verdünnung einer mit gewöhnlicher Luft gefüllten Röhre bis auf das Äußerste trieb, vermochte er neben dem normalen Spektrum dieses Gasgemenges auch noch Andeutungen der bekannten Linien von Kohlenoxyd, Natrium und Chlor zu erkennen, und dies hätte, wie er glaubte, nicht geschehen können, wenn nicht diese Substanzen bereits von Anfang an in der geprüften Luft enthalten gewesen wären. Daß dieser Umstand von Einfluß sein könne, räumte Wüllner ein; zumal die Fettdämpfe, welche man wohl kaum

gänzlich auszuschließen im stande ist, solange die Hähne der Pumpen einer Einfettung bedürfen, tragen gelegentlich zur Trübung der Erscheinungen bei. Nicht jedoch war er geneigt, einer solchen doch immer nur sekundären Ursache die Fähigkeit zur Hervorbringung selbständiger Spektra beizulegen, und eine neue Versuchsreihe bestätigte die Transformierbarkeit der einzelnen Spektralformen ineinander. Die Art der Entladung wurde in zylindrischen, der sonst üblichen kapillaren Verengerungen entbehrenden Röhren nach einem neuen Verfahren untersucht, und da der hierzu dienende Drehspiegel eine sehr scharfe Unterscheidung der einzelnen Lichterscheinungen ermöglicht, so zog Wüllner aus diesen neuen Beobachtungen den seiner früheren Auffassung zur Stütze dienenden Schluß: Kontinuierliche Entladung ergiebt Banden- und Funkenentladung ergiebt Linienspektra. Ein junger, ungemein viel versprechender Physiker, J. K. F. Zoellner (1834 bis 1882), hatte um diese Zeit den gleichen Gegenstand sowohl theoretisch als auch experimentell von neuem durchgearbeitet und dem Kirchhoffschen Fundamentalsatze, dem oben eine längere Erörterung zu teil ward, die Folgerung abgewonnen, daß das Spektrum, zumal hinsichtlich seiner photometrischen Beziehungen, nicht bloß durch Temperatur, Dichte und Absorptionskoeffizienten, sondern auch durch die Mächtigkeit der leuchtenden Schichten bedingt ist. Vermehrt sich diese Mächtigkeit, so verstärkt sich auch im Spektrum die Tendenz, aus einem differentiierten in ein kontinuierliches überzugehen. Daß Wüllner diese Bereicherung des bestehenden Wissens bereitwillig für die festere Begründung seiner Theorie verwertete, ist natürlich; der durchschlagende Funke ist nicht vermögend, dickere Gasschichten ins Leuchten zu bringen, sondern es wird bei Funkenentladung immer nur das Glühen einer Schicht von geringer Dicke, einer relativ geringen Anzahl von Molekülen anzunehmen sein, und dem entspricht das Hervortreten einer ebenfalls nur kleinen Anzahl leuchtender Linien im Spektrum. Nur eine außerordentlich starke Temperatursteigerung bringe auch bei solch diskontinuierlichem Elektrizitätsausgleiche die Annäherung an ein kontinuierliches Spektrum zuwege. Ångström hat sich allerdings dieser in Deutschland zur Herrschaft gelangten Deutung

der verschiedenen Spektra, welche der gleichen Substanz unter abweichenden Bedingungen entsprechen sollen, niemals anbequemt, sondern noch in seiner posthumen Schrift von 1875, die sein mehrjähriger Mitarbeiter T. R. Thalén (geb. 1827) herausgab, hält er daran fest, daß jedes Element auch nur ein einziges Spektrum besitzen könne, und daß das Auftreten mehrfacher Spektra mit der Thatsache zusammenhänge, daß jener Grundstoff nicht für sich allein, sondern in Verbindung mit fremdartigen Atomen, zur Lichtemission gebracht worden sei. Der Funkenentladung wird, als dem zuverlässigsten Erprobungsmittel, deshalb der Vorzug gegeben, weil der heiße Funke auch eine chemische Zersetzung der fein zerstäubten Teilchen bewirke und damit die einzelnen Elemente direkt isoliere, wogegen man beim kontinuierlichen Stromdurchgange nicht sicher sei, ob nicht neben den Elementarspektren auch bereits Spektren von Verbindungen aus dem zerlegenden Prisma hervorgingen.

Es mußte nicht geringes Interesse gewähren, angesichts der Erkenntnis, daß die Art der Entladung jedenfalls eine nicht geringe Wichtigkeit beanspruchen darf, auch jene großartigen Ausgleiche spektroskopisch zu beobachten, welche die freie Natur, ohne Zuthun des Menschen und oft sehr gegen dessen Wunsch, uns vor Augen stellt. Im Jahre 1868 machte A. Kundt (1838—1894) seine Beobachtungen über das Blitzspektrum bekannt. Man unterscheidet neuerdings — von den sehr schwer im Spektrum festzuhaltenden Kugelblitzen abgesehen — Linien- und Flächenblitze; die Blitze erster Art bethätigen eine unverkennbare Ähnlichkeit mit der Funkenentladung und die Blitze der zweiten Art ganz ebenso mit der stetigen Entladung. Da verdient es denn immerhin bemerkt zu werden, daß Kundt gerade bei den so augenfälligen Zickzackblitzen ein Linienspektrum, bei diffuserer Lichtentwicklung in einem nicht linearen Blitze ein Bandenspektrum erhielt, ohne daß allerdings eine ganz scharfe Grenze zwischen den beiden Formen gezogen werden konnte. Immerhin mochte man in dieser Analyse des Blitzes eine Bekräftigung der von Plücker angebahnten und von Wüllner weiter ausgestalteten Theorie eines innigen Zusammenhanges der besonderen Art des Spektrums mit der Eigenart des Glühprozesses erblicken.

Wir sind dem Zusammenhange zuliebe, wie das in diesem Werke schon mehreremale der Fall war, über das chronologische Niveau hinausgegangen, auf welchem sich unsere Darstellung sonst bewegte. Es war unsere Absicht, wesentlich nur das eine Jahrzehnt einheitlich zu schildern, welches mit Kirchhoffs und Bunsens ersten Arbeiten über die Spektralanalyse seinen Anfang nimmt, noch dazu ohne mehr als gelegentliche Rücksicht auf die schon in diesem Zeitraume kraftvoll emporstrebenden astrophysikalischen Anwendungen. Namentlich die großen theoretischen Grundfragen, welche durch jene Entdeckung aufgerollt wurden, sollten beleuchtet werden, und nicht minder war gleich jetzt daran zu erinnern, welche Fülle nützlicher Bethätigungen auf ganz anderen Gebieten dieselbe zugleich in sich schloß. Gerade in dieser letzteren Richtung, in der ja auch die Heranziehung der Spektroskopie für die Zwecke der Stahlfabrikation gelegen war, ist noch von einigen sehr interessanten Spezialforschungen zu berichten.

Die Lichtabsorption ist, wie wir wissen, die fundamentale Erscheinung, auf welcher das Sichtbarwerden der dunklen Spektrallinien beruht. Um sie hervorzubringen, mußte das Sonnenlicht durch eine glühende Gasmasse passieren, welche, falls sie nicht zur Aufschluckung dieses fremden Lichtes genötigt worden wäre, eine helle Linie gerade an der Stelle erzeugt haben würde, die thatsächlich vom Absorptionsstreifen eingenommen wird. Die Eigenschaft, Licht in sich festzuhalten, ist jedoch nicht notwendig an sehr hohe Hitzegrade gebunden. Es giebt vielmehr auch bei gewöhnlicher Temperatur eine selektive Absorption, d. h. ein Körper wählt auch unter sonst ganz normalen Umständen einzelne Strahlen des weißen (Sonnen-) Lichtes aus, welche er nicht durchläßt, sondern bei sich behält, und das Spektrum des Körpers belehrt uns durch die Absorptionslinien, welche Strahlen dieses Schicksal getroffen hat. Ein recht merkwürdiges Absorptionsspektrum weist u. a. der bekannte grüne Farbstoff der Blätter, das Chlorophyll, auf. Die gerichtliche Medizin hat ferner gewisse Forderungen an die Chemiker gestellt, denen durch die Studien von Gladstone, Roscoe und Stokes auch schon in den sechziger Jahren Genüge gethan wurde. Wird gewöhnliches Blut, in dem zwischen roten

und weißen Blutkörperchen das richtige, quantitative Verhältnis obwaltet, vor den Spektralspalt gebracht, so nimmt auch das ungeschulte Auge ohne weiteres zwei ausgesprochene dunkle Streifen wahr, die nicht sehr weit voneinander entfernt sind. Ganz anders wird das Bild, wenn das Blut desoxydiert, sauerstoffarm ist; dann nämlich ist nur ein einziges schwärzliches Band von etwas größerer Breite zu sehen, dessen Lage auch mit keinem der beiden vorerwähnten Streifen übereinstimmt. Zwischen diesem modifizierten Blut- und dem Fuchsin-Spektrum — das Fuchsin oder Rubin wird durch Oxydation aus Anilin gewonnen — ist kaum ein Unterschied zu konstatieren. Aus Stokes' durchgreifender Zergliederung der Blutspektra mußte geschlossen werden, daß der eigentliche Blutfarbstoff, Cruorin genannt, nicht an eine einzige Oxydationsstufe gebunden, sondern in zwei solchen Stufen existieren kann, welche in Farbe und Spektrum voneinander verschieden, aber auch wechselseitiger Transformation ineinander fähig sind. Ganz das gleiche gilt für das durch Säurenzusatz aus dem Cruorin darzustellende Hämatin. So sind mithin die zwei Spektrumspaare, welche Cruorin und Hämatin ergeben, zwar verwandt, aber doch auf den ersten Blick leicht zu unterscheiden, indem die Anzahl der schwarzen Streifen zwischen 1 und 3 variiert. Wieder anders sieht das Blutspektrum aus, sobald der roten Flüssigkeit eine auch nur minimale Menge von Kohlenoxyd, das ja dem Blute des gesunden Menschen gänzlich fehlt, beigesetzt ist; damit hat man ein Mittel erhalten, Erstickung durch Kohlendampf, wie sie bei den mit Hahnverschluß versehenen Öfen nur allzu leicht vorkommt, unzweideutig erweisen zu können. Nicht minder bringt Aufnahme der furchtbar zerstörenden Blausäure, des gefährlichsten „Herzgiftes", in das Blut eine so entschiedene Veränderung des Spektrums zuwege, daß auch in diesem Falle die Wissenschaft weit leichter als früher die Todesursache klarzustellen im stande ist. Ganz besonders dankenswerte Dienste leistet die Spektralanalyse aber dem Gerichtschemiker dadurch, daß sie ihm das Mittel verleiht, rostbraune Flecken, die sich an Kleidern oder Instrumenten finden und ein begangenes Verbrechen zu indizieren scheinen, auf ihre wahre Natur zu prüfen. Die Masse wird abgeschabt, gelöst und vor den zur Mikrospektro-

skopie eingerichteten Spektralapparat gebracht, den Sorby, der uns nicht unbekannte Begründer der Dünnschliff-Analyse, für solch feine Bestimmungen angegeben hat. Derselbe zerlegt so scharf, daß sein Erfinder noch 0,001 Gran des roten Blutfarbstoffes mit dessen Hilfe unterscheiden konnte. Die Lösung der nun akut werdenden Frage, ob man es mit Menschen- oder Tierblut zu thun habe, kann dem Mikroskope anvertraut werden, weil es bekannt ist, daß die menschlichen Blutscheibchen durchweg größer als diejenigen der Säugetiere sind.

Unsere Überschau hat ihre Absicht erreicht, wenn es ihr gelungen ist, die zentrale Stellung der Spektralanalyse im Gesamtorganismus der Naturwissenschaft, und zwar den letzterhaltenen Aufschlüssen zufolge nicht einmal bloß der anorganischen, deutlich nachzuweisen. Damit ist auch unser Vorsatz gerechtfertigt, der großen Entdeckung, welche aus den Laboratorien der Neckar-Universität hervorging, einen besonderen Abschnitt anzuweisen. Freilich war dies, von den sachlichen Motiven abgesehen, auch aus Rücksicht auf die innere Ökonomie der Darstellung technisch begründet; denn wohin sollte man sonst diese Sonderdisziplin stellen: Zur Physik, der ja die grundlegenden Sätze und Methoden angehören, zur Chemie, die zweifellos den unmittelbarsten Vorteil aus der großartigen Verfeinerung der älteren Scheidekunst gezogen hat, oder zur Astronomie, die in ihrem physikalischen Teile das Spektroskop ebenso notwendig wie das Fernrohr braucht? Diesem Dilemma zu entgehen, blieb kein anderer Ausweg als derjenige übrig, der schon aus prinzipiellen Gründen vorgesehen worden war. Wenn wir also jetzt von der Spektralanalyse Abschied nehmen, so ist dies nur ein vorläufiger, und in mehreren der nun folgenden Abschnitte wird sich uns reichliche Gelegenheit eröffnen, an die Berichterstattung, die diesmal nur eine eingeschränkte sein durfte, von neuem anzuknüpfen.

Dreizehntes Kapitel.

Die Astronomie in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts.

Unsere Erzählung fand, insoweit sie die Entwicklung der Astronomie zum Gegenstande hatte, mit dem Jahre 1846 ihr Ende, und da ein Schnitt gelegt werden mußte, um den Umfang eines einzelnen Kapitels nicht allzu sehr anschwellen zu lassen, so war jener Zeitpunkt gewiß ein wohl berechtigter. Denn eine gleich großartige Kombination der beiden dem Astronomen zur Verfügung stehenden Forschungsmittel, der Rechnung und der Beobachtung, hatte die Welt vorher nicht gesehen, und auch von den zahllosen bedeutenden Errungenschaften der folgenden Jahrzehnte kann keine, wenigstens was den äußeren Glanz angeht, zu jener in Parallele gestellt werden. Ja selbst wenn sich noch einmal ein ganz gleichartiger Fall zutrüge, wenn ein zweiter Leverrier einen transneptunischen Planeten berechnete und ein zweiter Galle ihn am angegebenen Orte auffände, selbst dann würde eine solche Leistung doch kein entsprechendes Aufsehen mehr erregen, weil eben die gelehrte Welt schon vorbereitet wäre. Das Planetensystem ist seit 1846, wenn auch der Mikrokosmus der Asteroiden seitdem an Umfang namhaft zugenommen hat, doch im Großen und Ganzen abgerundet, und schon damit ist, selbst wenn man den Triumph der Methode nicht besonders berücksichtigen wollte, die Sternkunde in eine neue Phase ihres Seins und Werdens eingetreten. Wir suchen die weiteren Phasen in systematischer Ordnung zu schildern und müssen dabei auf eine strengere Gliederung der einzelnen Abteilungen Bedacht nehmen, weil sich nunmehr die Bereicherungen

der Wissenschaft, die in der ersten Periode doch leichter übersehbar waren, ganz unvergleichlich mehr anhäufen. Alles, was irgend astrophysikalischen Charakter trägt, scheidet hier aus; den daraus entspringenden Nachteil wird kein Kundiger verkennen, aber er wird auch den Grund, der den Schaden mit in Kauf zu nehmen zwingt, gelten lassen; derselbe läßt sich dahin präzisieren, daß sich allmählich die Untersuchung des Gestirnlichtes durch Photometrie, Photographie und Spektralanalyse so gut wie selbständig gemacht hat, wie denn auch für Arbeiten dieser Art zumeist besondere, für Ortsbestimmung u. dgl. gar nicht adjustierte Observatorien entstanden sind, während die eigentlichen Sternwarten mit den ihnen zufallenden Aufgaben übergenug zu thun haben. Wir werden folglich zuerst der Beobachtungskunst — dieses Wort im älteren Sinne genommen — und der Vervollkommnung der Methoden zur Positionsbestimmung gedenken, hierauf zur Besprechung derjenigen Erweiterungen unseres Wissens von Anzahl und Oberflächenbeschaffenheit der Weltkörper übergehen, bei deren Erlangung einzig und allein das Fernrohr beteiligt war, und endlich auch auf rechnende Astronomie und Himmelsmechanik zu sprechen kommen. So dürfte der Kreis der in diesen Abschnitt gehörigen Objekte am leichtesten zu überblicken sein.

Nach R. Wolfs, des uns nicht fremden Historikers der Astronomie, verlässiger Schätzung gab es bei Beginn des 19. Jahrhunderts etwa 130 diesen Namen wirklich verdienende Sternwarten, von denen eine besonders große Zahl auf Frankreich entfiel. In der ersten Jahrhunderthälfte war eine Vermehrung der Gesamtzahl eingetreten, obwohl in dem früher klassischen Lande ein auffälliger Rückgang zu konstatieren war. In den siebziger Jahren werden es, wiederum nach Wolf, zusammen gegen 200 gewesen sein, und eine beträchtliche Änderung hat seit jenem Termine schwerlich Platz gegriffen, weil die neuen Tempel der Urania in ihrer überwiegenden Mehrzahl nicht für den Dienst der Gesamtwissenschaft, sondern nur für eine Abzweigung derselben bestimmt wurden. Die britische Nationalsternwarte Greenwich und das neue russische Zentralobservatorium Pulkowa haben ihren

Ruf ungeschmälert beibehalten, wogegen Paris, das ja zu Leverriers Zeit nicht einmal die nötigen Mittel zur Verifizierung von dessen Rechnungsergebnissen dargeboten hatte, erst in jüngster Zeit auch nach dieser Seite hin so mancher jüngeren Schwester ebenbürtig gemacht worden ist. Von den mit deutschen Astronomen besetzten Anstalten sind Dorpat, Königsberg i. Pr., Berlin, Breslau, Gotha, Kiel, Göttingen, Leipzig, Bonn, München, Wien Zentralstätten geblieben, wie sie dies immer waren. Das Wiener Observatorium hat, während es früher seiner ungünstigen Lage halber für Präzisionsmessungen schlechte Gelegenheit bot, einen trefflichen Platz auf der vom Stadtzentrum weit entfernten „Türkenschanze" erhalten und sich unter der Direktion von E. Weiß (geb. 1837) in gedeihlichster Weise entwickelt. Prag vermißt noch immer eine den heutigen Anforderungen entsprechende Sternwarte; Budapest ist in den Besitz des ungarischen Volkes, Krakau, wo M. Weiße (1798—1863) der letzte deutsche Vorstand war, in den Besitz des polnischen Volkes übergegangen. Im deutschen Reiche sind zwei schöne Sternwarten neu erstanden: Straßburg i. E. als eine Frucht der deutschen Siege und Bamberg als das Geschenk, welches ein für die Wissenschaft begeisterter und auch in derselben wohl erfahrener Liebhaber der Astronomie, K. Remeis (1837—1882), seiner Vaterstadt dargebracht hatte. Auch wurde die altehrwürdige, von Chr. Mayer und J. B. G. Nicolai (1793—1846) zu Ehren gebrachte Mannheimer Sternwarte zuerst nach Karlsruhe und von da nach Heidelberg verlegt. Überhaupt zeigt sich mehr und mehr das Bestreben, die Sternwarten möglichst mit den Hochschulen organisch zu verbinden; ein Bestreben, das seine innerliche Rechtfertigung kaum zu beweisen braucht, so wenig geleugnet werden soll, daß auch Anstalten, die einer solchen Anlehnung entbehren, gleichfalls sehr segensreich wirken können. Wir erinnern in dieser Beziehung nur an die altberühmte Klostersternwarte Kremsmünster, an welcher im 18. Jahrhundert P. Fixlmillner, im nächsten M. Koller (1792—1866), A. W. Reslhuber (1808—1875) und S. Fellöcker (1816—1887), der Historiker seines Institutes, erfolgreich gewirkt haben. Sehr auffallende und

bedeutsame Fortschritte in der Fundierung neuer Sternwarten hat die Neue Welt gemacht, welche vor hundert Jahren für ihren damals hervorragendsten Astronomen N. Bowditch (1773—1838) noch keine Stätte zur Entfaltung seiner Fähigkeiten verfügbar hielt. Den Reigen eröffnete die Marinesternwarte von Washington, geleitet von dem berühmten Geophysiker Maury, den auch seine Kometenbeobachtungen bekannt machten, und ihr schlossen sich Schwesteranstalten in reichem Maße an; wir werden mehrere derselben, die allerdings in der Pflege der physischen Astronomie ihr oberstes Ziel erblicken, späterhin noch wiederholt namhaft zu machen haben. In Südamerika hat B. A. Gould (geb. 1824) eine trefflich mit Instrumenten versehene Sternwarte zu Buenos Aires gegründet. Auch Afrika und Asien, in welch letzterem Vorder- und Hinterindien eine ehrenvolle Ausnahmestellung behaupten, haben einige anerkannte Anstalten, wie denn der Jesuit P. Dechevrens neuerdings von Zi-ka-Wei nächst Shanghai aus bereits gar viele wichtige Mitteilungen in die Welt gesandt hat. Australien trat schon 1821 den hochzivilisierten Ländern zur Seite; damals begründete der Gouverneur Th. Brisbane (1770—1860), selbst ausübender Astronom, das Observatorium zu Paramatta, zu dessen Leitung der Hamburger Nautiker K. L. C. Rümker (1788—1862) berufen wurde, und ein zweites schuf der ebenso einflußreiche, wie wissenseifrige Mann nachmals in Makerstown.

Das schon im fünften Abschnitte gekennzeichnete Bestreben, die Erhebung der die Hauptinstrumente tragenden Horizonte über das Durchschnittsniveau der Umgebung zu einer recht geringen zu machen und dadurch jenen ein größtmögliches Maß von Stabilität zu sichern, hat jetzt, in der zweiten Jahrhunderthälfte, selbstverständlich noch entschiedener durchgegriffen, und Höhensternwarten werden nur noch auf Bergen, ganz gewiß aber nicht mehr auf Türmen oder auf den Dächern von Gebäuden anderweiter Bestimmung angelegt. Sehr deutlich zeigte sich dies, um nur eines einzelnen Falles zu erwähnen, bei dem nach Moebius' Tode (1868) notwendig gewordenen Neubau der Leipziger Sternwarte, die man um 1790, einem Gutachten der drei geachteten

Fachmänner Bortz, Hindenburg und Ruediger Folge gebend, absichtlich auf dem Turme des Schlosses Pleißenburg eingerichtet hatte. Manche Instrumente, die noch in den dreißiger Jahren gebräuchlich gewesen waren, verschwinden nunmehr aus dem Armarium der Sternwarten, welches allenthalben nach Besselschen Grundsätzen zusammengestellt wird. An die Stelle der Quadranten und Sextanten, die nur noch für gelegentliche, rasch anzustellende Beobachtungen gebraucht werden, ist der Vollkreis ganz allgemein getreten, dessen Graduierung mit der Reichenbachschen Teilmaschine erfolgt und, ehe man das Instrument in Dienst nimmt, sorgfältig durch das Ablesemikroskop darauf untersucht wird, ob der Abstand je zweier konsekutiver Teilstriche durchweg gleich ist; wenn nicht, wie es die Regel ist, werden die einzelnen Fehler tabellarisch gebucht, und bei der Ablesung nimmt man auf diese Fehlertabelle regelmäßig Bedacht. Firmen von hohem Range, wie sie jetzt nicht mehr allein in England zu finden sind, werden begreiflicherweise bevorzugt. An die Stelle des berühmten Konsortiums Fraunhofer-Reichenbach-Utzschneider ist auf dem erprobten Boden Münchens die große, für aller Herren Länder arbeitende Werkstätte von G. Merz (1793—1867) gekommen, in dessen Fußstapfen seine Söhne L. und S. Merz traten; Starke in Wien, Pistor in Berlin, Brunner in Solothurn sind andere geachtete Namen deutscher Abkunft. Eine besonders erfreuliche geistige Kontinuität zeichnet aber die Hamburger Offizin Repsold aus, denn auf J. G. Repsold (1770—1830) folgten A. und G. Repsold (1806—1871; 1804—1884), und die Söhne beider Männer wetteifern mit ihren Vorfahren in der Herstellung von Präzisionsinstrumenten. Hinsichtlich der Ausführung dioptrischer Gläser von vollkommenster Achromasie sind die Familien Voigtländer (Wien-Braunschweig) und Steinheil (München) zu verdienter Anerkennung gelangt; aus dem Atelier des zweiten in der Voigtländerschen Dynastie (J. F. Voigtländer, 1779—1859), dem man u. a. unseren gewöhnlichen Operngucker verdankt, ist auch S. Ploeßl (1794—1868) entsprossen, dessen aplanatische Mikroskope und dialytische Fernrohre — Refraktoren, die durch eine aus Glas und Flüssigkeit gebildete

Kombination die Farbenzerstreuung aufhoben — zeitweise ganz außerordentlich begehrt waren. Die Mikrometer, bestimmt zur Messung sehr kleiner Bogendistanzen im Gesichtsfelde des Fernrohres selbst, haben jetzt nicht mehr die Vielgestaltigkeit, die ihnen früher eigen war, sondern die meisten Astronomen begnügen sich damit, im Brennpunkte zwei sich rechtwinklig kreuzende Liniensysteme anzubringen, wozu sie Spinnengewebe, feine Platinfäden oder auch in Glas eingeritzte Gitter verwenden, in deren Gravierung man es zu vordem unerreichbar scheinender Vollendung gebracht hat. Zum Horizontalstellen dienen jetzt einzig nur noch die Libellen, von denen zwei, mit senkrecht stehenden Achsen, auf der Fußplatte oder auf den Achsenlagern eines jeden Instrumentes angebracht sein müssen; mit Weingeist werden sie nur noch selten, weit häufiger mit Äther gefüllt, der eine viel beweglichere, der inneren Reibung weniger ausgesetzte Flüssigkeit darstellt. Auf jeder Sternwarte ist der Meridiankreis, der direkt auf dem Grundpfeiler befestigt wird, das wichtigste Instrument, und eine Unsumme kleiner mechanischer Vorteile ist aufgeboten worden, um das in der Meridianebene spielende Fernrohr trotz seiner Schwere so handlich zu machen, daß es unschwer durch einen Fingerdruck regiert werden kann. Der Einstellungsfehler, der niemals ganz aus der Welt geschafft werden kann, ist auf ein Minimum herabgesunken, seitdem 1848 die amerikanischen Astronomen W. C. Bond (1789—1859) und S. C. Walker (1805—1853) die elektrische Zeitnotierung anwandten, die sich auch für die exakte Bestimmung geographischer Längenunterschiede so höchst probat erwiesen hat. E. Loomis (1811—1889) hat in einer Schrift, in der er 1850 die zeitgenössischen Fortschritte der astronomischen Wissenschaft, mit besonderer Berücksichtigung des den Vereinigten Staaten zuzuerkennenden Anteiles, zusammenhängend schilderte, das nur erst gelegentlich angewandte Verfahren der Öffentlichkeit vorgelegt, und sehr bald wurde es allseitig nachgeahmt. In dem Augenblicke, in dem der Beobachter das zu fixierende Ereignis, zumeist den Durchgang des Sternes durch einen der vertikalen Parallelfäden, wahrnimmt, drückt er auf einen Hebel, und dieser Druck schließt einen galvanischen Strom, so daß zugleich auf dem,

ganz wie beim Morse-Telegraphen, abrollenden Papierstreifen durch eine Nadel eine Stichmarke entsteht. Da zudem die einzelnen Sekunden auf dem Streifen durch gleichabständige Einstiche markiert sind, so kann man Bruchteile einer Sekunde mit großer Genauigkeit ablesen. Zwei verschiedene Beobachter fassen nur höchst selten gleichzeitig auf, und die als persönliche Gleichung bezeichnete Differenz der Zeiten, in denen das Auge den Eindruck konzipiert und das ausführende Organ darauf reagiert, hat den praktischen Astronomen seit Maskelyne, der zuerst auf die Sache aufmerksam wurde, viel zu schaffen gemacht. Der neue Chronograph beseitigt den aus der Thatsache, daß auch die Nervenfortleitung nicht instantan erfolgt, entspringenden Fehler zwar nicht gänzlich, verkleinert ihn aber ungemein, so daß er keine nachteilige Rolle mehr zu spielen vermag. F. Pape (1834 bis 1862), C. J. E. Wolf (geb. 1827), A. Hirsch (geb. 1830) u. a. haben die Lehre von der Personalgleichung astronomisch bearbeitet, aber auch vom Standpunkte der Psychophysik aus, die wir als Grenzgebiet zwischen Psychologie und Physik noch zu betrachten haben werden, ist man einer Erscheinung näher getreten, welche über die Wirkungsweise der menschlichen Sinneswerkzeuge sonst nicht leicht erhältliche Aufschlüsse verspricht.

Daß die Uhr als das zweitwichtige Instrument einer guten Sternwarte zu betrachten ist, bedarf kaum der Hervorhebung, denn sobald es anerkannt ist, daß die oberste Aufgabe des Beobachters darin besteht, irgend ein Geschehnis am Himmel genau nach Ort und Zeit festzustellen, so ist die Bedeutung des Zeitmeßapparates klar genug umschrieben. Um den Gang der Pendeluhr, die durch Kompensation, Vereinigung von Stangen aus verschieden ausdehnbaren Metallen in der Pendelstange, gegen Wärmeschwankungen geschützt sein muß, nach Möglichkeit auch gegen die Einflüsse des Luftwiderstandes und der Luftadhäsion zu isolieren, läßt man sie neuerdings gerne in einem Kasten schwingen, in dem durch eine Luftpumpe eine starke Verdünnung des hemmenden Mediums hergestellt werden kann. In Greenwich hat man, wie N. Lockyer (geb. 1836) angiebt, eine andere Art des Schutzes gegen die Variationen des Luftdruckes gewählt; mit

der Pendellinse ist ein kleiner Magnet verbunden, der im Ruhezustande vertikal über einem magnetischen Schwimmer auf dem Meniskus eines Gefäßbarometers steht, so daß mit dessen Hebung durch verstärkten Luftdruck eine Retardation, mit dessen Senkung durch verminderten Luftdruck eine Beschleunigung der Pendelbewegung eintritt. Ein vorzügliches Uhrwerk ist auch erstes Erfordernis für das parallaktisch aufgestellte Äquatorial, bei welchem die Achse, um welche sich das Fernrohr dreht, zur Weltachse parallel steht, so daß also, wenn die Drehung derjenigen der Erde genau gleich und entgegengesetzt gerichtet ist, ein in den Mittelpunkt des Gesichtsfeldes gebrachtes Objekt dauernd darin verbleiben muß. Bei Studien topographisch-astronomischer Natur ist diese Annehmlichkeit kaum hoch genug anzuschlagen; W. Herschel litt sehr unter dem Übelstande, daß ihm das anvisierte Gestirn, bei der starken Vergrößerung seiner Spiegelteleskope, immer gleich wieder aus den Augen kam, und daß ein stetiger Gebrauch des eine seitliche Bewegung ermöglichenden Mechanismus unumgänglich war.

Einen sehr guten Abriß dessen, was die astronomische Beobachtungskunst in den Anfangsjahren der uns gegenwärtig beschäftigenden Periode leistete, enthält ein Werk, welches Ph. Carl, zugleich ein nicht minder geachteter physikalischer Schriftsteller, im Jahre 1863 zu Leipzig herausgab. Einen etwas späteren Standpunkt kennzeichnet Lockyers auch durch geschichtliche Parallelen anregende „Beobachtung der Sterne sonst und jetzt“ (deutsche Ausgabe, Braunschweig 1880). Seitdem ist die Praxis ebensowohl wie die für die Praxis arbeitende Theorie unausgesetzt fortgeschritten, indessen sind keine neuen Erfindungen von umgestaltender Bedeutung hinzugekommen. Der Instrumentenpark einer größeren Sternwarte weist noch gar manche andere Typen auf, die jedoch in einer allgemeinen Schilderung übergangen werden können. Das Heliometer, der unentbehrliche sphärische Distanzmesser, hat schon früher seine Stelle gefunden. Was die dem nicht an die Scholle gebundenen Astronomen und dem Forschungsreisenden als wertvollstes Rüstzeug dienenden Reflexionsinstrumente anlangt, so ist bei ihnen jetzt durchweg der Spiegel durch das total reflektierende Prisma ersetzt, und die Anwendung eines

solchen verstattet es auch dem Beobachter, von der Seite her in das Passageninstrument hineinblicken zu können, was namentlich bei der Messung des Ortes von Zenitalsternen angenehm ist und die wenig bequemen, auf Schienen bewegten Beobachtungsbetten überflüssig macht.

Alle himmlischen Bewegungen werden an den festen leuchtenden Punkten gemessen, an welchen der Weg eines bewegten Himmelskörpers — Planet, Komet oder Meteorit — vorüberführt, und dem Astronomen muß deshalb vor allem daran gelegen sein, durch genaue Fixsternkataloge eine thunlichst genaue Himmelspolizei ausüben zu können. Bessel und sein Schüler Argelander hatten in dieser Hinsicht besonders wichtige Arbeiten geliefert, indem sie namentlich die Zonenbeobachtungen organisierten, und in dem von ihnen angedeuteten Sinne ist rüstig weitergearbeitet worden. In dem Zeitraume seit 1846 haben Rümker der ältere, Airy, M. J. Johnson (1805—1859), R. C. Carrington (1826—1875) u. a. neue Kataloge von Wert geliefert, während J. Ph. Wolfers (1803—1878) und O. v. Struve (geb. 1819) die unentbehrlichen Reduktionstafeln lieferten, durch welche erst ein Sternort, nachdem die Korrektionen für Aberration und Nutation an ihm angebracht sind, mit irgend einem anderen vergleichbar gemacht wird. In neuester Zeit hat zumal A. Auwers (geb. 1838) diesen an sich unscheinbaren, aber allen Beobachtungen und Rechnungen erst die Zuverlässigkeit gewährleistenden Zweig des astronomischen Rechnungswesens gepflegt. Himmelskarten von großer Exaktheit besaß man um die Mitte des Jahrhunderts bereits genügend; indessen fallen auch in die spätere Zeit noch umfassendere Unternehmungen dieser Art, wie diejenigen von Argelander (1863), von E. Heis (1872) und von R. Proctor (seit 1870); die südliche Halbkugel, für die es noch an einem übersichtlichen Atlas mangelte, erhielt denselben 1874 durch C. Behrmann (geb. 1843). Argelander, der in allen die Fixsternkunde betreffenden Fragen an der Spitze blieb, so lange seine Kräfte es ihm erlaubten, hat sich auch durch eine kritische Prüfung des ersten wissenschaftlich wertvollen Kartenwerkes der älteren Zeit, der „Uranometria“ von J. Bayer, die 1603 zu Augsburg erschien

und zuerst die uns jetzt geläufige Bezeichnungsweise der Fixsterne einführte, ein ehrendes Denkmal gesetzt. Das neueste Unternehmen ist die große photographische Sternkarte, deren im nächsten Abschnitte, wenn die Himmelsphotographie an die Reihe kommt, zu gedenken sein wird.

Eine der wichtigsten Thatsachen, welche in den ersten Jahrzehnten des neuen Jahrhunderts festgestellt wurde, war, wie wir uns entsinnen, die, daß viele Fixsterne diesen Namen nicht mit vollem Rechte tragen, vielmehr eigene Bewegung erkennen lassen. Diese kann selbst wieder eine wirkliche sein, wie bei den Sternsystemen, oder aber eine scheinbare, indem unser Sonnensystem seinen Ort im Weltraume verändert. Die zweitgenannte Frage ist unausgesetzt Gegenstand einer sorgfältigen Erwägung gewesen, an der sich Airy, L. de Ball (geb. 1853), J. H. Bischof (geb. 1857) und auch noch mehrere jüngere Forscher beteiligt haben; daß auch die Astrophysik hier ihre eigenen Wege zu gehen weiß, werden wir noch erfahren. In der Hauptsache fallen die für die Lage des sogenannten Apex ermittelten Deklinations- und Rektaszensionswerte in einen nicht allzu ausgedehnten sphärischen Flächenteil, und die ältere Ansicht, daß die Bewegungsrichtung dem Sternbilde des Herkules zugekehrt sei, hat sich bewahrheitet. Maedlers Hypothese von der in den Plejaden zu suchenden Zentralsonne hat, obwohl ihr Urheber nochmals 1856 seine ganze Kraft an die Rettung derselben setzte, den Angriffen von C. A. Peters und M. Kowalski (1822—1884) nicht Stand halten können und ist gegenwärtig so gut wie vergessen. Neuerdings hat M. Hall (geb. 1845) jedoch den Versuch, an dem sein Vorgänger Schiffbruch gelitten hatte, insofern wieder aufgenommen, als er untersuchte, ob nicht vielleicht die unserer Sonne, nebst planetarischem Gefolge, zugeschriebene progressive Bewegung thatsächlich vielleicht eine revolutorische sei, und wirklich glaubte er gefunden zu haben, daß sich die Sonne im Laufe von 20000000 Jahren um einen — obenhin anzugebenden — Zentralpunkt herumbewege.

Um zu anderen Problemen der Stellarastronomie überzugehen, sei zunächst an die von W. Herschel erfundenen und deshalb schon

früher erörterten Sternaichungen erinnert, welche darauf ausgehen, ungefähre Anhaltspunkte über Zahl und Verteilung der Fixsterne zu erhalten. Gewisse Flächenstücke werden wirklich „geaicht", d. h. es wird eine zahlenmäßige Bestimmung der in ihrem Bereiche wahrnehmbaren Sterne der verschiedenen Größenordnungen vorgenommen, und daran knüpfen dann Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen an. Es sind hier besonders die Untersuchungen von W. v. Struve und H. Seeliger (geb. 1849) anzuführen. Ersterer stellte fest, daß man einen größten Kreis ziehen kann, der beiläufig als Mittellinie der sogenannten Milchstraße erscheint, und dessen Ebene als galaktische Ebene eine gewisse Rolle bei den Studien über die Struktur des Weltgebäudes spielt. Die Lage dieser Ebene ist in den achtziger Jahren durch den Belgier J. Ch. Houzeau (geb. 1829) genauer fixiert worden. Selbstverständlich hat man die von Bessel, wie wir uns erinnern, erstmalig mit positivem Erfolge gelöste Frage nach der Parallaxe der Fixsterne ebenfalls nicht aus dem Auge verloren. O. v. Struve (1859) und A. Krüger (1832—1896) (im gleichen Jahre) bestimmten neben derjenigen von Wega in der Leier mit neuen Mitteln die Parallaxe des klassisch gewordenen Doppelsternes 61 cygni, und eben diesem letzteren wandte anhaltende Aufmerksamkeit Auwers um das Jahr 1868 zu; es ergab sich, daß die Größe des Winkels, unter welchem ein auf jenem Sterne angenommener Beobachter den halben Durchmesser unserer Erdbahn sehen würde, immerhin eine halbe Sekunde übersteigt. Einen ziemlich analogen Wert erhielt F. A. Th. Winnecke (1835 bis 1897) für einen sehr schwachen, aber durch eine stärkere Eigenbewegung ausgezeichneten Stern des Argelanderschen Kataloges. Die helleren Sterne der Südhalbkugel wurden 1884 von D. Gill (geb. 1843) und W. Elkin (geb. 1855) einer Durchmusterung nach dieser Seite hin unterzogen, welche für α Centauri 0,75 Sekunden — nicht, wie man vorher angenommen hatte, eine volle Sekunde — und für Sirius 0,38 Sekunden lieferte. Zumal Elkin, dem in New-Haven ein besonders fein ausgeführtes Heliometer zur Verfügung steht, hat von einer ganzen Anzahl von Fixsternen dieses wichtige Element neu gemessen und dargethan, daß der

Winkel in vielen Fällen, z. B. bei Wega, zu klein ist, um mit halbwegs befriedigender Genauigkeit angegeben werden zu können. Einen verhältnismäßig großen Parallaxenwert von nahezu einer halben Bogensekunde hat 1894 H. S. Davis aus älteren Beobachtungen L. M. Rutherfurds (geb. 1816) abgeleitet. Im allgemeinen wird jedoch, wie wieder in allerneuester Zeit B. Peters (geb. 1853) Kontrollierungsarbeit lehrte, an der Thatsache festzuhalten sein, daß die Entfernung der Fixsterne von unserem Sonnensysteme durchweg eine ganz ungeheuer große ist. Und daran ist auch durch die wissenschaftlich überaus erfreuliche, im nächsten Abschnitte darzulegende Erweiterung und Vervollkommnung der astrophysikalischen Hilfsmittel nichts geändert worden. Schließt man, von unseren bisherigen Kenntnissen ausgehend, auf die Distanz der entferntesten Objekte, die ein Teleskop allerersten Ranges gerade noch erkennen läßt, so findet man, daß das Licht viele tausend Jahre — nach W. Herschel sogar bis zwei Millionen Jahre — braucht, um von dort zu uns zu gelangen. Gäbe es dort denkende Wesen mit ungemein verfeinerter Sinneskraft, so würden sie durch das von unserem Planeten ihrem Wohngestirne zugeschickte Licht über die einzelnen Phasen der Erdgeschichte und, falls minder weit entfernt, der Menschengeschichte unterrichtet werden.

So erscheint das Weltsystem, dem die Erde als ein sehr unscheinbarer Bestandteil angehört, als ein winziges Inselchen im unendlichen Weltraume, der mit zahllosen anderen, teilweise wohl weit größeren Inseln durchsetzt ist. Die von W. und J. Herschel herrührenden Ansichten über den relativen Ort, den unser Sonnensystem einnimmt, hat man in der Hauptsache gebilligt, und R. A. Proctor (geb. 1857) machte in seinem geistreichen, wenn auch vielleicht etwas zu phantasievollen Werke von 1878 („Other Worlds than ours") sogar sehr energische Versuche, der Sonne nebst ihrem Anhange einen bestimmten Platz gegenüber der Milchstraße anzuweisen. Letztere denkt er sich als massiven, in mehreren Schichten aufgebauten Sternenring mit eigentümlichen Durchbohrungen, als deren (Tunnel-)Öffnungen wir Menschen jene völlig sternarmen Gegenden des Südhimmels vor uns sehen, die

in der Schiffersprache als „Kohlensäcke“ bekannt sind. Die Weltinsel, der wir selbst angehören, hätte nach Proctor, der die Ideen der beiden Herschel sehr ins einzelne auszugestalten trachtet, innerhalb des genannten galaktischen Ringes eine ziemlich zentrale Lage, und eben aus diesem Grunde sollen wir die Milchstraße mit ihren Spaltungen und Verzweigungen so deutlich wahrnehmen, wie es thatsächlich der Fall ist.

Die Fixsternkunde hatte von jeher auch den veränderlichen und neuen Sternen ein besonderes Augenmerk zu widmen; sie hatte Lichtstärkemessungen anzustellen und die Färbung der Sterne zu beachten; vor allem aber fielen ihr auch die als Sternhaufen und Nebelflecke bekannten Objekte anheim. Alle diese Aufgaben haben in den letzten Jahrzehnten ihren Charakter vollkommen verändert; die Astrophysik hat zur Erforschung der überhaupt unseren Sinnen zugänglichen Verhältnisse ganz neue Wege betreten, und so erwächst auch für uns die Notwendigkeit, alle einschlägigen Fragen später in dem gebotenen Zusammenhange zu besprechen. Wir wenden uns also jetzt gleich unserem Sonnensysteme zu, registrieren aber auch hier nur jene Fortschritte, zu deren Erzielung ausschließlich Fernrohr und Mikrometer benützt worden sind.

Alle Untersuchungen über Sonnenflecke und Sonnenfackeln sind mithin von vornherein an dieser Stelle auszuschließen. Ob der Sonnendurchmesser eine sich immer gleich bleibende Größe besitze oder aber Veränderungen unterworfen sei, kann gleichfalls nur im unmittelbaren Anschlusse an die Konstatierung des momentanen physikalischen Zustandes der Sonne entschieden werden. Dagegen konkurrieren ältere und neuere Methoden bei der Ermittlung der Rotationsgeschwindigkeit, mit welcher sich neuerdings besonders J. G. Boehm (1807—1868) im Jahre 1852, F. G. W. Spoerer (1822—1895) im Jahre 1884 und wiederholt J. Wilsing in Potsdam beschäftigt haben. Sehen wir einstweilen von der namentlich von Spoerer, wie auch früher schon von Carrington (um 1854) außer Zweifel gesetzten Thatsache ab, daß auf der Sonne auch spontane Eigenbewegungen unaufhörlich im Gange sind, so kann der Mittelwert der Zeit, in

welcher der Sonnenball eine einmalige Umdrehung um seine Achse ausführt, auf 25,3 Tage angesetzt werden. Daß dieser Zeitraum sich auch in gewissen Prozessen, die sich auf unserer Erde abspielen, gewissermaßen abspiegelt, wird ein späterer Abschnitt auszuführen haben.

An die Möglichkeit des Vorhandenseins eines intramerkuriellen Planeten, für den vorsorglich auch gleich der Name Vulkan auftauchte, war schon vor längerer Zeit gedacht worden, und auch der negative Ausgang von E. Herricks (1811—1862) Absuchung der nächsten Umgebung der Sonne brachte noch keine Entscheidung. Im Gegenteile bekam der alte Verdacht neue Nahrung durch Leverriers Mitteilung (1859), die bekannte Venusmasse reiche nicht aus, um die Störungen des Merkur in seiner Bahn richtig darzustellen, so daß wohl an einen störenden Körper in größerer Sonnennähe zu denken sein möchte. Als der Arzt E. M. Lescarbault (geb. 1814) von jenem Berichte Leverriers an die Pariser Akademie Kunde erhalten hatte, eröffnete er dieser Körperschaft, daß er im März gedachten Jahres einen kreisrunden Fleck auf der Sonne beobachtet habe, der recht wohl der Planet oder vielleicht einer aus einer ganzen Planetoidenkette sein könne. Der Entdecker des Neptun pflichtete vollkommen bei, und für einige Zeit schien Vulkan ein vollberechtigtes Glied des Planetensystemes geworden zu sein. Allein da er sich niemals bei einer totalen Sonnenfinsternis zeigen wollte, so wurde man wieder an seiner Existenz irre, und zudem hat nachmals J. Bauschingers Revision der Bahnelemente des Planeten Merkur es sehr wahrscheinlich gemacht, daß Leverrier bei seiner analogen Arbeit von teilweise unrichtigen Voraussetzungen ausgegangen ist.

Als sehr nahe zusammengehörend und einander in allen physischen Beziehungen verwandt sind stets die beiden unteren Planeten Merkur und Venus aufgefaßt worden; ein Element der Übereinstimmung ist namentlich auch durch das Fehlen von Nebenplaneten gegeben. Zwar der Venusmond spukt noch ab und zu als Gespenst in der planetarischen Astronomie, und wirklich erhellt aus den Nachweisungen, die F. Schorr (in Danzig) im Jahre 1875 und P. Stroobant (in Brüssel) im Jahre 1887 gegeben

haben, daß gewisse Anzeichen leicht den Glauben an diesen vielumstrittenen Himmelskörper wieder aufleben lassen können, allein die Wahrscheinlichkeit, daß derselbe ins Kapitel der optischen Täuschungen zu verweisen sei, bleibt doch die weitaus überwiegendere. Neuere Bestimmungen des Venusdurchmessers hat man 1879 von E. K. Hartwig (geb. 1851) und 1893 von L. Ambronn erhalten; es steht danach fest, daß dieser uns räumlich nächststehende Wandelstern fast genau so groß wie die Erde ist — nach Ambronn sogar ein wenig größer, während alle anderen Messungen einen etwas kleineren Äquatorialdurchmesser ergeben haben. Noch äußerst unsicher ist, was man von der Umdrehungsdauer beider Planeten weiß. De Vico hatte um 1840 einen Venustag von 23 Stunden 24 Minuten ausgemittelt, und dieser Wert behauptete sein Ansehen Jahrzehnte lang, bis in der zweiten Hälfte der achtziger Jahre der geniale Piemontese Giovanni Schiaparelli (geb. 1835), dem auf seiner Mailänder Sternwarte schon so manche folgenreiche Beobachtung gelungen war, mit einer grundstürzenden Neuerung hervortrat. Merkur und Venus, so stellte er es als fast gewiß hin, bedürfen gleich viel Zeit, um eine Revolution um die Sonne und eine Rotation um ihre Achse zu vollziehen. Beide verhielten sich also dem Zentralkörper gegenüber so, wie sich der Mond gegenüber der Erde verhält; die Begriffe Jahr und Tag wären identisch. Damit war dann auch eine veränderte Auffassung der Stellung der Umdrehungsachsen im Raume verbunden, indem Schiaparelli dafür eintrat, daß diese Linien auf den Bahnebenen angenähert senkrecht stünden. An den Mailänder Astronomen schloß sich H. J. Perrotin (geb. 1845) an, während W. Wislicenus (geb. 1859) und Niesten, der Verfertiger eines Venuskärtchens, eine ablehnende Haltung einnahmen. P. Lowell glaubte sich auf Grund seiner im Jahre 1896 angestellten Beobachtungen gleichfalls dazu ermächtigt, den von ihm gesehenen Venusflecken, die ihm in ihrer Konstanz eine Umdrehungsdauer im Sinne Schiaparellis zu verbürgen schienen, eigene Namen beizulegen; gegen das ganze Beobachtungsverfahren richtete L. Brenner (pseudonym), der auf seiner „Manora-Sternwarte“ in Lussin piccolo ungewöhnlich

günstige atmosphärische Zustände auszunützen in der Lage ist, eine scharfe Kritik, die H. J. Klein in Köln a. Rh. (geb. 1842), nicht minder ein gewiegter Planetenbeobachter, für berechtigt erklärt. Wie ungemein schwierig alle Messungen sind, weil ja eben anerkannte Fixpunkte auf den Planetenscheiben fehlen, darüber orientiert eine zusammenfassende, besonders auch die ganze einschlägige Litteratur musternde Studie aus W. Villigers Feder, welche 1898 die „Annalen" der Münchener Sternwarte brachten. Es wird hier die kritische Sonde an die Ansichten gelegt, welche man sich über die Beschaffenheit der unzweifelhaft existierenden Venusflecke gebildet hat; gemeiniglich erklärt man sie für reell, allein es ist auch sehr wohl denkbar, daß man es blos mit physiologischen Kontrastwirkungen zu thun habe, und alsdann fallen natürlich alle an die Ortsveränderung solcher Gebilde geknüpften Folgerungen in sich zusammen. Experimente, die Villiger mit einseitig beleuchteten Gummi- und Gipskugeln anstellte, ließen die Schwierigkeit, nach der älteren Art scharfe Messungen der rotatorischen Bewegung von Planeten auszuführen, aufs deutlichste hervortreten. Es besteht folglich kein Zweifel: Die alte Streitfrage nach der Umdrehungszeit der beiden unteren Planeten tritt ungelöst in ein neues Jahrhundert hinüber.

Ganz und gar nicht mehr von einer Streitfrage ist dagegen die Rede, wenn wir jetzt den Planeten Mars ins Auge fassen. Es ist derselbe nächst unserem Erdmonde derjenige Himmelskörper, welcher uns am genauesten bekannt ist, zugleich auch derjenige, welcher, wenn wir die Phantasmen eines Kircher, Huygens und Fontenelle nach J. Scheiners (geb. 1858) Andeutungen wissenschaftlich umbilden wollen, mit unserer Erde nahezu allein die Voraussetzung für das Leben physisch uns ähnelnder Organismen darbietet. Der Planetenkörper ist nahezu kugelförmig; seine Abplattung dürfte man mit Hartwig und C. A. Young (geb. 1834) jedenfalls kleiner als 1:200 anzusetzen haben. A. W. Schur (geb. 1846) gelangte sogar (1896) zu einer noch weit beträchtlicheren Annäherung des Marssphäroides an die reine Kugelform. Schon seit älterer Zeit waren konstante Ungleichmäßigkeiten an der Marsoberfläche deutlich wahrgenommen

worden, und seit Zucchis erstem Versuche (1640) sind Marszeichnungen häufig genug gefertigt worden. Zu den früher erwähnten Skizzen dieser Art traten nachmals die weit gelungeneren Versuche von F. Kaiser (1808—1872), F. J. C. Terby (geb. 1846) und Proctor hinzu; Terby machte auch den Anfang mit einer areographischen Nomenklatur, die sich allerdings nicht gegenüber der von Schiaparelli eingeführten zu behaupten vermochte. Der Letztgenannte beobachtete in den sieben Monaten vom September 1877 bis zum April 1878 stetig den Planeten, der in seiner damaligen Opposition eine selten günstige Beleuchtung aufwies, und der Merzsche Refraktor der „Brera", der bis zu 468 maliger Vergrößerung aufzusteigen gestattet, ermöglichte die Konstruktion einer ersten Marskarte, die auf diesen Namen gerechten Anspruch hatte. Die Kugelfläche wurde mit einem Netze von Meridianen und Parallelkreisen überdeckt; alle sichtbaren Gegenstände wurden mikrometrisch mit Bezug auf ein immer wieder leicht auffindbares Koordinatensystem eingemessen, und die einzelnen Örtlichkeiten erhielten Namen, die aus der mythologischen Geographie des Altertums, und teilweise auch des Mittelalters, herübergenommen sind und sich bald der Billigung auch der übrigen Marsforscher zu erfreuen hatten. Schiaparelli hielt an der Annahme fest, daß die dunkler erscheinenden Landschaften auf das Vorherrschen von Wasser, die das Sonnenlicht stärker reflektierenden auf das Vorwalten von Festland hinwiesen, und unter dieser überaus plausiblen Voraussetzung stellte sich eine wichtige Erfahrungsthatsache heraus: Die Verteilung des flüssigen und des festen Elementes ist auf der Oberfläche des Mars eine total verschiedene von derjenigen auf der Oberfläche der Erde. Gerade um den Äquator herum legt sich ein kompakter Gürtel von großen, nur durch schmale Sunde getrennten Inseln, während die südliche Hemisphäre, auf der Erde wesentlich ozeanisch, nur größere Binnenmeere, in die gewaltige Halbinseln hineinragen, erkennen läßt. Die eigentümlichen weißen Flecke, welche exzentrisch zum südlichen Pole gelegen sind, hatte bereits (1784) W. Herschel als Schneeansammlungen gedeutet, und durch Schiaparelli ist der Beweis für die Richtigkeit dieser Auffassung

geführt worden, indem die Größenveränderung der Polarflecke als mit den Mars-Jahreszeiten übereinstimmend erkannt ward; im Winter wachsen regelmäßig diese Flecke an, und im Sommer nehmen sie ab. Gerade dieser Umstand ist geeignet, die Analogie zwischen Mars und Erde recht bestimmt hervortreten zu lassen; nicht wenig trägt auch dazu bei, daß Ekliptikschiefe und Tagesdauer für beide Planeten sich gar nicht nennenswert unterscheiden. K. Linßer (1837—1869) bestimmte die Umdrehungszeit zu $24^h\ 37^m\ 23^s$, und die von 1885—1886 erschienenen Neubearbeitungen von H. G. van den Sande Bakhuyzen (geb. 1838) und Wislicenus haben daran nichts Erhebliches geändert. Neben so manchen Ähnlichkeiten begegnen uns, wenn wir zwischen den beiden Nachbargestirnen Vergleiche ziehen, freilich auch Gegensätze, zu deren richtigem Verständnis uns teilweise die Mittel fehlen. Dahin gehören zu allererst die merkwürdigen Verdoppelungen von Kanälen, mit denen Schiaparelli, zumal nachdem er 1886 eine zweite Oppositionsperiode verfolgt hatte, die Fachwelt bekannt machte, und die dann auch von anderen Astronomen konstatiert wurden, so z. B. von denjenigen der kalifornischen „Lick-Sternwarte“, während wiederum Brenner im April 1896 zwar die große Zahl von 126 Kanälen, 44 mehr als Schiaparelli, gefunden und doch niemals eine Verdoppelung wahrgenommen haben will. Man hat, um die Erscheinungen, welche Mars darbietet, zu erklären, kühne und sogar ungezügelte Spekulationen nicht gescheut; vorangegangen sind damit J. H. Schmick (geb. 1840) und, etwas später, N. C. Flammarion (geb. 1842), letzterer wohl überhaupt einer der skrupellosesten Vertreter jenes zwar gewiß nicht des Geistes, wohl aber der nüchternen Lenkung entbehrenden Zweiges, den man als Konjekturalastronomie bezeichnen kann. Der feurige Sprudelgeist des Franzosen macht sich in seiner sonst sehr gut geleiteten Zeitschrift „L'Astronomie“ oft etwas allzu sehr geltend; im vorliegenden Falle übertrug er auf den Mars die für dessen planetarische Gefährtin allerdings gesicherte Lehre von der Eiszeit und bedeckte des ersteren Oberfläche mit einem gewaltigen Eispanzer, in dem sich Sprünge von ein paar hundert Kilometer Breite ebenso leicht öffnen wie schließen sollten. Die Forschung

der neuesten Zeit glaubte einen ganz anderen Weg betreten zu sollen, vergleichbar demjenigen, den Villiger bei der Prüfung der Venusflecke eingeschlagen hat. Der Geologe E. St. Meunier (geb. 1843) und der italienische Astronom V. Cerulli, letzterer seit 1897, haben sich, im Einverständnis mit mehreren anderen Gelehrten, dahin ausgesprochen, daß die Verdoppelung eine rein subjektive Erscheinung sei; ja Cerulli dehnt diese Erklärung, was wohl noch lebhafte Gegnerschaft finden dürfte, auf die Kanäle selbst aus. Dagegen hat es für den, der ein auf eine Blechplatte gemaltes Bild der Marsoberfläche mit dunklen Streifen seitlich durch ein Flortuch betrachtet, etwas sehr Einleuchtendes, die Verzwiefachung dieser Streifen nicht auf die Natur der sogenannten Kanäle, sondern auf ein Brechungsphänomen zurückzuführen, da ja auch eine stark brechende Marsatmosphäre ganz gewiß vorhanden ist.

Auf Mars folgt, wenn wir von der Sonne weg dem Grenzkreise unseres Planetensystemes zustreben, jene Lücke, die, wie unser zweiter Abschnitt zeigte, die Naturphilosophie nach ihren eigenen Rezepten auszufüllen bestrebt war, und die dann von 1800 an wirklich durch eine stetig anwachsende Zahl sogenannter Planetoiden oder Asteroiden ausgefüllt wurde. Bis zum Jahre 1846, mit dem unsere frühere Übersicht schloß, zählte man nur 5 solch „kleine“ Planeten, aber man war doch noch weiterer Funde gewärtig. Hatte doch schon 1805 J. S. G. Huth (1763 bis 1818), A. v. Humboldts Lehrer auf der Universität Frankfurt a. O., gemeint, er würde sich gar nicht wundern, wenn Ceres und Pallas „mindestens zehn Mit-Planetchen“ erhalten würden. Hencke, der 1845 die Asträa entdeckt hatte, fand 1847 noch die Hebe auf, und seitdem folgten sich die Neuentdeckungen mit so rapider Schnelligkeit, daß die astronomischen Jahrbücher wohl oder übel darauf verzichten mußten, vollständige Ephemeriden für jedes solche Miniaturgestirn auszuarbeiten; so kam es denn auch wohl einmal vor, daß ein Asteroid verloren ging, von einem anderen Beobachter neu aufgefunden und vielleicht auch mit einem neuen Namen belegt wurde, bis sich dann gelegentlich die Identität mit einem schon bekannten Mitgliede der Gruppe ergab. Mehrere Astronomen haben sich als „Planetoidenjäger“ einen Namen ge-

macht; wir nennen z. B., ohne erschöpfend sein zu wollen, H. Goldschmidt (1802—1866), J. Chacornac (1823—1873), J. R. Hind (geb. 1823), N. R. Pogson (1829—1891), K. R. Th. Luther (geb. 1822), W. Tempel (1821—1889), C. J. Watson (1838 bis 1889), L. A. N. Borrelly (geb. 1842), die Gebrüder Henry (geb. 1848 und 1849), C. H. Peters (1813—1890) und, als den glücklichsten unter allen, J. Palisa (geb. 1848), der auf seinen beiden Observatorien in Pola und Währing (bei Wien) schon mehr denn fünfzig Mikroplaneten dingfest gemacht hat. Im letzten Dezennium hat diese Seite der beobachtenden Sternkunde eine sehr einschneidende Vervollkommnung durch die Photographie erfahren; doch sei, was in dieser Hinsicht zu sagen ist, dem vierzehnten Abschnitte vorbehalten. Die Asteroiden besitzen noch nicht sämtlich Namen; im November 1897 wurde die Monachia in Bogenhausen-München von Villiger, im September 1898 die Hungaria von Max Wolf in Heidelberg (geb. 1863) gefunden und benannt, während die zahlreichen Findlinge des Jahres 1899, die man wesentlich Wolf und seinem Mitarbeiter Schwaßmann, ferner Charlois und Perrotin in Nizza, sowie Coggia in Marseille verdankt, einstweilen noch summarisch dadurch bezeichnet werden, daß man in einen kleinen Kreis die chronologische Ordnungszahl einschreibt. Trotz der ausdauernden Bemühungen unerschrockener Rechner, unter denen A. Berberich obenan steht, haben doch einige von diesen Körperchen, die man nicht lange genug zu verfolgen im stande gewesen war, wieder verloren gegeben werden müssen. Bis Ende 1899 war Planet (444) das Schlußglied der Reihe; seitdem sollen auf japanischen Sternwarten einige weitere Entdeckungen erfolgt sein, über die jedoch genauere Auskunft fehlt. Sämtliche kleine Planeten verdienen diesen Beinamen im vollsten Maße, denn nur wenige von ihnen lassen eine hinlänglich deutliche Scheibe erkennen, deren scheinbaren Durchmesser das Heliometer zu fixieren vermag, und über die wirkliche Größe der Mehrzahl unter ihnen orientiert nur in sehr rohen Umrissen S. Stampfers photometrisches Berechnungsverfahren, welches 1851 bekannt gemacht und vier Jahre später von Argelander verbessert wurde.

Die Bahnen der Planetoiden verschlingen sich in verwickelten Kombinationen; es besteht nach L. d'Arrest (1822—1875) eine eigentliche Bahnverkettung. Die Ansicht D. Kirkwoods (geb. 1814), daß ein dereinst vorhandener, massiger Planet in eine große Anzahl von kosmischen Splittern auseinandergeborsten sei, hat das Bedenken gegen sich, daß nicht, wie es doch in solchem Falle erwartet werden müßte, sämtliche Bahnen annähernd durch denselben Punkt des Raumes hindurchgehen. In neuester Zeit sind von A. Svedstrup, J. Glauser (geb. 1844), E. Liais (geb. 1826) und L. Cruls (geb. 1848) weitere Untersuchungen über die räumliche Verteilung der kleinen Planeten vorgenommen worden. H. P. Harzer (geb. 1857) berechnet aus den auf den Mars ausgeübten Perturbationen die Gesamtmasse aller Asteroiden auf etwa das $1^1/_2$fache der Marsmasse selbst, und da Berberich die Gesamtmasse aller zur Zeit bekannten kleinen Planeten sehr viel niedriger schätzen zu sollen glaubt, so wäre daraus der Schluß zu ziehen, daß es deren noch weit mehr giebt, als wir heute vermuten, so daß also dem 20. Jahrhundert in Bezug auf die Erkundung des Zwischenraumes zwischen Mars und Jupiter noch eine ziemlich große Aufgabe zu lösen übrig zu bleiben scheint. Dies gilt insbesondere auch von gewissen Formen dieser winzigen Weltkörper, die, wie es den Anschein hat, G. Witt im August 1898 mittelst der photographischen Platte von ihren Genossen loszulösen verstanden hat. Berberich zeigte, daß die Umlaufszeit eines solchen Asteroiden, der von seinem Entdecker Eros getauft ward, kürzer als die des Mars ist, und daß er der Erde bis auf etwa 20 Millionen Kilometer nahe kommen kann. Von den Bahnlinien der übrigen kleinen Planeten scheint bloß diejenige von (228) — Agathe — die Erosbahn zu kreuzen. Es liegen Gründe zu der Annahme vor, daß mit der Zeit noch mehr Wandelsterne nachgewiesen werden können, die gänzlich zwischen Erde und Mars ihre Umwälzung um die Sonne vollziehen.

Über Jupiter hat uns die neueste Zeit manch neuen Aufschluß gebracht, allein man darf sagen, daß alle die betreffenden Errungenschaften fast einzig auf Rechnung der Astrophysik zu setzen

sind. Viele Diskussionen hat ein auffallender roter Fleck hervorgerufen, den Tempel im Jahre 1878 zuerst bemerkte, und der seitdem von Niesten, R. Wolf, A. Wolfer (geb. 1854), W. F. Denning (geb. 1848) und, vielleicht am ausdauerndsten, von W. O. Lohse (geb. 1845) verfolgt worden ist. Eine selbständige Bewegung und eine mit ihr Hand in Hand gehende Periodizität hinsichtlich der Lichtstärke kennzeichnen das der Jupiter-Atmosphäre angehörige, mutmaßlich meteorologisch zu interpretierende Objekt.

Weit stärker noch als Jupiter, dessen relativ starke Elliptizität noch im 17. Jahrhundert Dominic Cassini bemerkt hatte, ist Saturn abgeplattet; Kaiser und W. Meyer (geb. 1853) fanden den Wert der Abplattung noch etwas größer als 1:12. Die von W. Herschel ermittelte, sehr kurze Rotationsdauer bestätigte 1881 A. Hall (geb. 1829), indem er dafür $10^h\ 15^m$ angab. Saturn zeichnet sich, wie jedermann weiß, durch den die Planetenkugel konzentrisch umgebenden, frei schwebenden Ring aus, der nach der Zeitbestimmung Angelo Secchis (1818—1878), des berühmten Vorstehers der Sternwarte am Collegio Romano, in $14^h\ 30^m$ einen Umlauf um seinen Zentralkörper macht. Man hat Anhaltspunkte dafür, daß nicht von einem einzelnen Ringe, sondern von einem ganzen Ringsysteme die Rede sein muß, und jeder dieser Einzelringe darf nicht als ein kompakter Körper, muß vielmehr als ein Aggregat kleiner, selbständiger Einzelkörperchen angesehen werden, wie denn bereits 1789 W. Herschel erklärte, um die Zeit, da der Ring verschwindet, weil seine parallelen Begrenzungsebenen das Auge des Beobachters in sich schließen, habe ihm einmal eben dieser Ring den Eindruck eines Rosenkranzes gemacht. Der Amerikaner B. Peirce (1809—1880) hatte sich dahin geäußert, er könne nicht verstehen, wie ein massiver Ring, der doch so verschieden stark durch die Anziehung beansprucht werde, so lange Zeit vor dem Zusammenbruche bewahrt bleibe; thatsächlich sei, wie Maxwell (1859) und Hirn (1872), völlig unabhängig voneinander, durch theoretische Überlegungen verständlich zu machen suchten, nur eine Ansammlung von diskreten Kugeln vorhanden. Von einem ganz anderen Standpunkte aus bekräftigte im Jahre

1887 Seeliger das Ergebnis seiner Vorgänger, indem er die von ihm entwickelten photometrischen Sätze auf die Resultate seiner eigenen Messungen der Stärke des von dem vermeintlichen Ringe ausgehenden Lichtes anwendete. Seeliger spricht dem Ringsysteme eine staubförmige Konstitution zu, und diese kann sowohl durch die erwähnten photometrischen, wie auch durch J. Keelers spektroskopische Bestimmungen als bewiesen gelten, was um so wichtiger ist, da der Münchener Astronom in dem Gedankengange Maxwells gewichtige, in demjenigen Hirns immer noch hinlänglich schwere Bedenken aufgedeckt hatte, durch welche die trotzdem richtigen Endschlüsse so lange unzuverlässig bleiben mußten, als nicht auch ein mehr empirischer Beweis nachgeliefert zu werden vermochte.

Die am meisten in die Augen springende Eigentümlichkeit des Uranus besteht darin, daß sein Körper dann und wann fast kugelrund, zu anderen Zeiten wieder, wie Webb und Airy bezeugten, in sonderbar eckiger Gestalt gesehen wurde. Seeliger hat 1884 die gestaltlichen Verhältnisse des Planeten, den wir uns offenbar als in einem noch sehr lockeren Aggregatzustande befindlich vorzustellen haben, einläßlich behandelt. Wenn W. Buffham (1870 und 1872) im Rechte ist, so weicht Uranus von der sonst das Planetensystem beherrschenden Regel, nach welcher der Winkel zwischen Bahn- und Äquatorebene sich in engen Grenzen hält, ganz gewaltig ab; letzterer erreicht einen Wert von 80°. Recht wenig lehrt uns die gewöhnliche Art der Beobachtung von Neptun. A. Hall und M. Hall haben sich mit ihm beschäftigt, und dem letzteren zufolge dreht sich der Planet in $7^h\ 55^m$ um seine Achse. Den scheinbaren und wahren Durchmesser maßen O. v. Struve in Pulkowa und E. E. Barnard mit Hilfe des ausgezeichneten Refraktors des Lick-Observatoriums (1895). Hier erschien der Planet fast immer als kreisrunde Scheibe, und die zugehörige Planetenkugel besitzt nach den in sehr klarer Luft vorgenommenen Beobachtungen einen Durchmesser von nahe 53000 Kilometer Länge.

Von den Trabanten unseres Sonnensystemes ist der Erdmond der nächste und auch bekannteste, insoweit nicht die bekannte

Gleichheit von Rotations- und Revolutionsdauer uns fast die Hälfte seiner Oberfläche für immer unsichtbar macht. Wieweit in den ersten fünf Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts das teleskopische Studium der uns zugekehrten Mondoberfläche durch Maedler, Beer, Lohrmann und J. Schmidt gefördert worden war, geht aus unserem fünften Abschnitte hervor. Riedl v. Leuenstern (in Wien), Dickert (in Bonn) und Maedlers Schwiegermutter W. Witte (1777—1854) schufen hübsche Mondgloben, deren Äußeres im Relief die thatsächlichen Oberflächenverhältnisse möglichst treu wiedergab. Unter dem reinen Himmel Athens hat J. Schmidt bis zu seinem Ableben unausgesetzt durch treffliche Zeichnungen unser Wissen von den lunaren Gebilden gefördert, und gleiches Verdienst ist W. R. Birt (1804—1881) und Th. W. Webb (1806—1885) nachzurühmen, die seit dem Ende der fünfziger Jahre in gleichem Sinne thätig waren. Auf einen höheren Standpunkt hoben die Mondkunde zwei in englischer Sprache geschriebene Ausstattungswerke, die durch H. J. Kleins Mühewaltung auch in guter deutscher Übersetzung zugänglich gemacht worden sind; J. Nasmyth (1808—1890) und J. Carpenter (geb. 1840) erschienen mit dem ihrigen 1874, E. N. Neison (geb. 1851) erschien mit dem seinigen 1876 auf dem Büchermarkte. Man ersieht aus ihnen, welch reges Leben auf britischem Gebiete unter dem Einflusse der dortigen „Selenographical Society“ erblüht ist. Aber auch auf dem Kontinente herrscht noch immer frisches Treiben. Von W. Prinz (in Brüssel) hat man vorzügliche, allerdings durch Vergrößerung amerikanischer Photogramme erhaltene Mondabbildungen, und auch der Prager Astronom L. Weinek (geb. 1848) war mit großem Erfolge hier thätig. Indessen kommen wir darauf besser im astrophysikalischen Abschnitte zu sprechen. Dagegen ist der schöne Mondatlas, den J. N. Krieger, früher in einem Vororte Münchens und seitdem auf der ihm gehörigen „Pia-Sternwarte“ zu Triest thätig, ausschließlich auf Handzeichnung basiert und beweist augenfällig, wieviel auch mit diesem einfachen Mittel zu erreichen ist. In den letzten zwanzig Jahren hat die Photographie, die anfänglich dem Monde gegenüber nicht recht viel bedeuten wollte, so rapide Fortschritte gemacht, daß diesem jüngsten

Entwicklungsstadium in der Geschichte der Selenographie demnächst eine ausführlichere Skizzierung zu teil werden muß. Dort soll überhaupt die eigentliche *Mondphysik* zu ihrem Rechte gelangen; hier genüge nach dieser Seite hin die einstweilige Bemerkung, daß die moderne Forschung bezüglich der *Mondatmosphäre* die Ermittlungen *Bessels* durchaus gerechtfertigt hat. Umgiebt den Erdmond überhaupt eine Hülle aus einem der chemischen Zusammensetzung nach mit unserer irdischen Luft vergleichbaren Stoffe, so ist die Dichte desselben jedenfalls eine ungemein geringe.

An die Fortschritte der lunaren Kartenzeichnung hat sich neuerdings — wenn dieser etymologisch freilich zu beanstandende Ausdruck gestattet wird — auch eine selbständige *Mondgeologie* angereiht. Die weitaus größte Zahl der Fachmänner führt die so eigentümlich gearteten Unebenheiten der Mondoberfläche auf die Wirkung vulkanischer Kräfte zurück, indem sie sich natürlich nicht verhehlt, daß *der lunare Vulkanismus* sich *vom tellurischen mannigfach unterscheiden* muß. Giebt es doch auf unserem Begleiter kein Wasser, und dieser Stoff hat bei der Bildung unserer Aufschüttungsvulkane zweifellos sehr entscheidend mitgewirkt. Daß auch eine im Fundamente abweichende Auffassung geschickt verteidigt worden ist, soll nicht verschwiegen werden. Im Jahre 1879 erschien unter dem Autornamen *Asterios* eine die Entstehung der Ringgebirge des Mondes ganz eigenartig interpretierende Schrift; das Pseudonym deckte, wie man vernahm, zwei Männer, die sich auf ganz anderen Gebieten einen geschätzten Namen erworben hatten und als Nicht-Astronomen lieber unerkannt bleiben wollten. Nach ihrer Meinung ist der Mond früher, als er noch eine glutflüssige, weiche Kugel war, einem sehr heftigen Bombardement von Meteoriten ausgesetzt gewesen, und indem nun diese Fremdkörper in die nachgiebige Masse eindrangen, soll sich rings um diese Stelle die verdrängte Glutflüssigkeit gehoben, sozusagen aufgestülpt haben, so daß also ein Ringwall entstand, der allmählich fest wurde. Es ist jedoch nicht einmal notwendig, einer derartigen Erklärung die Annahme eines bildsamen Materialzustandes zu Grunde zu legen; selbst feste, fast vollkommen starre Körper werden, wenn man sie mit Artilleriegeschossen von namhafter Bewegungsgeschwindigkeit

bearbeitet, in einer Weise deformiert, daß eine gewisse Analogie mit den Erscheinungen, welche der Mond wahrnehmen läßt, unverkennbar ist. Auf Schießplätzen, welche zur Erprobung von Panzerplatten und Grusonschen Befestigungskuppeln dienen, sind derartige Versuche wirklich angestellt worden, und wer die daraufhin aufgenommenen Lichtbilder betrachtet, kann sich des Zugeständnisses, daß die beschossene Fläche sich ganz wie der Mond ausnimmt, nicht entschlagen. Die Bilder, welche E. Althans in dieser Hinsicht veröffentlicht hat, haben unleugbar etwas Überzeugendes an sich, und auch einer der ersten unter den jetzt lebenden Geologen Nordamerikas, G. K. Gilbert (geb. 1843), steht auf Althans' Seite; auch er nimmt Abstand von der Voraussetzung eines halbflüssigen Zustandes der Mondkugel und weist der hohen Temperatur, welche beim Auftreffen eines Boliden auf den harten Satellitenkörper nach bekannten thermodynamischen Grundsätzen entstehen mußte, die Erzeugung von Schmelzwirkungen zu. So plausibel indessen die ganze Beweisführung aussieht, so wird ihr doch vielleicht durch den einzigen Einwurf der Boden entzogen, wie es denn komme, daß auf der Erde analoge Bildungen fehlen, während die Bedingungen dafür doch für beide Weltkörper wesentlich die gleichen sein müßten. Es ist wahr, Asterios und Gilbert haben dergleichen Örtlichkeiten auch auf unserem Wohnplaneten aufzeigen wollen, aber daß ihnen dieser Nachweis nicht besonders gut geglückt ist, scheint kaum bezweifelt werden zu können. Es muß also doch wohl dabei sein Bewenden haben, daß man mit den Agentien auszureichen sucht, über welche die terrestrische Vulkanologie Licht verbreitet hat. Nasmyth und Carpenter denken sich die Bildung der verschiedenen Mondberge völlig in der Weise vor sich gegangen, wie man sich die Entstehung der Quellkuppen oder homogenen Vulkane — nach Maßgabe der schon von L. v. Buch und A. v. Humboldt verlautbarten Anschauungen — zurechtlegt; H. Ebert erzeugte experimentell ähnliche Gebilde. Jedenfalls giebt es keine allgemeingiltige Erklärungsweise, wie jeder zugiebt, der sich an Neisons eingehende Analyse der Vielgestaltigkeit dieser Formen erinnert. Die sogenannten Strahlensysteme identifizierten Nasmyth-Carpenter mit Sprüngen in

der Mondkugel, wie solche ja auch beispielsweise zu stande kommen, wenn eine schon matte Flintenkugel eine Glasscheibe durchbohrt. Sehr umfassend und zugleich umsichtig ist die Darlegung der geologischen Entwicklungsgeschichte unseres Trabanten, mit welcher P. H. Puiseux (geb. 1855) und M. Loewy (geb. 1833) 1897 hervortraten. Beide Gelehrte haben durch aufmerksame Betrachtung genauer photographischer Mondkarten die Überzeugung gewonnen, daß die einzelnen Mondgebilde keineswegs gleichzeitig entstanden sind, sondern daß sich bei ihrer Bildung ganz ebenso verschiedene chronologische Perioden unterscheiden lassen, wie dies von unseren Erdgebirgen bekannt ist; auch werden korrekterweise neben den besonders wichtigen vulkanischen Prozessen nicht minder tektonische zugelassen. Die rätselhaften Rillen, die der Amerikaner E. Ch. Pickering (geb. 1846) trockenen Flußbetten an die Seite zu stellen bereit ist, werden von Puiseux und Loewy der Primordialperiode in der Lebensgeschichte des Mondes zugerechnet; diese meist geradlinigen Risse klafften auf, als die Rinde noch einer leichten horizontalen Verschiebbarkeit fähig war. Manche Züge hat mit der eben erwähnten Systematik der lunaren Individualitäten jene gemein, welche ziemlich gleichzeitig der Wiener Geologe Eduard Sueß (geb. 1831) aufstellte. Die sogenannten Meere — mare imbrium, mare serenitatis u. s. w. —, die selbstverständlich keine Wasseransammlungen sein können, weil die ausgebrannte Mondschlacke der Flüssigkeit entbehrt, sind nach Sueß gigantische Aufschmelzungsherde, und die Strahlensysteme identifiziert er mit linear gelagerten Exhalationsstellen, deren Produkte sich, wie man dies im Bereiche der Kordilleren bestätigt finde, durch lebhafte Lichtreflexion auszeichnen sollen. Man ersieht aus dieser kurzen Übersicht, daß die modernste Selenologie durch die steten Vergleiche zwischen dem Oberflächencharakter des Mondes und der Erde eine Fülle tiefgreifender Anregungen empfangen hat. Als einen fundamentalen Gegensatz zwischen beiden Weltkörpern wäre man freilich den hinzustellen versucht, daß auf unserem Planeten die Oberfläche sich in einem Zustande stetiger, fortschreitender Umänderung befindet, wogegen unser Begleiter gänzlicher Erstarrung anheimgefallen zu sein scheint. Immerhin glauben doch gewiegte

Mondbeobachter — J. Schmidt, H. J. Klein, Ph. Fauth in Kaiserslautern, Neison — solche Neubildungen als vorkommend anerkennen zu sollen. Vielleicht hat bei denselben der ungeheure Temperaturgegensatz die Hand im Spiele, der zwischen dem vierzehntägigen „Tage" und der gleichfalls vierzehntägigen „Nacht" notwendig obwalten muß.

Gleich fruchtbar für die Wissenschaft konnte das Studium der Monde anderer Planeten aus nahe liegenden Gründen nicht gemacht werden, weil dieselben zu lichtschwach und zu weit entfernt sind, als daß auch das bewaffnete Auge mehr als einige äußerliche Wahrnehmungen zu machen befähigt würde. Was Mars angeht, so galt derselbe bis zum Jahre 1877 als mondlos; aber es ist geschichtlich interessant, daß von den verschiedensten Seiten, von Kepler, von Schyrlaeus de Rheita, von J. Swift, von Voltaire die Existenz von Marstrabanten als eine feststehende Thatsache behandelt wurde; es seien die Astronomen nur eben noch nicht geschickt genug gewesen, die kleinen Objekte aufzufinden. Was halb scherzhaft prophezeit worden war, ging wider Erwarten wirklich in Erfüllung. Es war der auch sonst vom Entdeckerglücke so sehr begünstigte A. Hall, der bewies, daß der Kriegsplanet von zwei allerdings sehr kleinen Begleitern, „Furcht" und „Schrecken" (Deimos und Phobos) nannte er sie, umgeben werde. Sie bringen einen Umlauf in der ungemein kurzen Zeit von $30^h\,14^m$ und $7^h\,38^m$ zustande. Die altbekannten, von Galilei entdeckten Jupitermonde wurden natürlich stetig beobachtet, und namentlich betreffs des sogenannten ersten Trabanten glaubten die Astronomen der Lick-Sternwarte eine sehr charakteristische Abweichung von der Kugelgestalt feststellen zu können. Aber auch die drei anderen Monde erscheinen bei gewissen Stellungen ellipsoidisch. Seit 1893 ist zu den vier „mediceischen Planeten" noch ein fünfter, von Barnard aufgefundener, hinzugetreten, dem eine Umlaufsdauer von nahe 12^h zukommt, der also, wie diese Zahl ersehen läßt, immer nur ganz wenig aus den Strahlen des Hauptkörpers heraustritt. Eigentümliche Flecke auf den Oberflächen der Satelliten konnten Pickering und Barnard wahrnehmen; Bahnelemente für den jüngsten Mitbürger unseres Sonnensystemes konnte

F. Cohn ableiten. Übrigens scheint auch für Saturn, obwohl darüber noch keine volle Klarheit erbracht ist, eine Vermehrung seines Trabantensystemes in Aussicht zu stehen. Pickering hat neuerdings auf den Vorbergen der Anden nächst der peruanischen Stadt Arequipa eine Zweigstation der altberühmten „Harvard-Sternwarte" (Cambridge, Maß.) begründet, und die periodischen Veröffentlichungen des letztgenannten Institutes meldeten 1899, daß man auf der photographischen Platte den deutlichen Abdruck eines achten Saturnmondes von etwa siebzehnmonatlicher Revolutionsperiode erhalten habe. Sehr lichtschwache Himmelskörper sind die vier Uranusmonde, und von ihrem physischen Verhalten läßt sich deshalb auch kaum ein zutreffendes Bild entwerfen. Dagegen scheint nach J. R. Rydberg eine sehr merkwürdige Beziehung zwischen ihren Bahngeschwindigkeiten obzuwalten. Nennt man b_1, b_2, b_3, b_4 die mittleren täglichen Bewegungen der vier — in der üblichen Reihenfolge genommenen — Monde, so soll $b_1 + b_4 = b_2 + 2b_3$ sein. Noch schwerer, als die vorerwähnten Trabanten, ist der einzige, 1846 von T. L. Lassell (1799—1880) entdeckte Neptunsatellit zu beobachten, denn er ist nach F. F. Tisserand (1845—1896) nur als ein Sternchen 14. Größe zu erkennen. H. Struve (geb. 1845) hat uns übrigens doch mit den Bahnelementen dieses — zu gewissen Zeiten — äußersten Gliedes unseres Weltsystemes bekannt gemacht. Darnach bildet seine Bahnebene mit der Äquatorebene Neptuns einen sehr großen Winkel, der überdies im Laufe der Zeit sehr namhaften Schwankungen unterworfen ist.

Was von Kometen und Meteoritenschwärmen, zwei nach gegenwärtiger Anschauung sehr nahe zusammengehörigen astronomischen Untersuchungsobjekten, sowie auch was vom Zodiakallichte zu berichten ist, fällt einerseits ganz der Astrophysik, andererseits der theoretischen Astronomie zu, auf welche wir demnächst ganz von selbst werden geführt werden. Nur ein für sich bestehendes Problem erheischt zuvor noch eine Sonderdarstellung, nämlich die Bestimmung der kosmischen Entfernungen. Dieselbe hängt, wie wir uns anläßlich der Fixsterndistanzen überzeugen konnten, durchaus von der sehr exakten Messung parallak-

tischer Winkel ab; kennt man diese, so bietet die Berechnung der zugehörigen Lineargrößen keine prinzipiellen Schwierigkeiten mehr dar. Um aber sämtliche Entfernungsangaben vergleichbar zu machen, muß man sie in der Normaleinheit ausdrücken, und als kosmische Einheit für Längenmaße wird allgemein die Entfernung der Erde von der Sonne betrachtet, welche selbst wieder durch die Sonnenparallaxe bedingt ist. Diese letztere aufzufinden, muß somit das ernsteste Bestreben der Astronomen sein, und glücklicherweise ist man im Besitze eines unübertrefflichen Verfahrens zur Lösung dieser Aufgabe. Freilich aber kann man an dieselbe nicht nach freiem Ermessen herantreten, sondern man muß geduldig warten, bis die Natur, in längeren Fristen, die gebildete Menschheit zur Mitarbeit auffordert. Als E. Halley 1677 auf der Insel St. Helena Gelegenheit hatte, den Planeten Merkur als dunklen Fleck in der Sonnenscheibe zu beobachten, da drängte sich ihm sofort der Gedanke auf, daß Vorübergänge der unteren Planeten vor der Sonne eine gute Bestimmung der Parallaxe dieser letzteren ermöglichen müßten, und gleichzeitig machte er seine Nachfolger auch darauf aufmerksam, daß ein Venusdurchgang noch bessere Dienste als ein Merkurdurchgang leisten werde. Die Folgezeit hat sich diesen Wink nicht umsonst gegeben sein lassen, und als in den durch die astronomischen Tafeln angekündigten Jahren 1761 und 1769 je ein solches Ereignis eintrat, da sandten die europäischen Staaten ihre Beobachter in die entferntesten Länder, um dort Aus- und Eintrittstermin zu fixieren. Kennt man nämlich die Zeit, welche der Planet, von verschiedenen Erdorten aus gesehen, in der Sonne zu verweilen scheint, so kann man daraus die Parallaxe herleiten. Encke hat in zwei Schriften, die 1822 und 1824 erschienen, das ganze in jenen beiden Jahren angesammelte Material verarbeitet, und ihm folgend setzte 1864 K. R. Powalky (1817—1881) die gesuchte Winkelgröße, von den Fachleuten gemeiniglich mit dem griechischen Buchstaben π bezeichnet, gleich 8,832 Bogensekunden. Diese Zahl mußte so lange ausreichen, bis die für die Jahre 1874 und 1882 vorausberechneten Venusdurchgänge eine Verschärfung der Fundamentalkonstante herbeiführen würden. Dies ist denn auch wirklich der Fall gewesen.

Wenn man sich vergegenwärtigt, daß eine Fehlbestimmung der Sonnenparallaxe im Betrage von 0,1 Bogensekunden einen Fehler von rund 200000 geogr. Meilen in der Festsetzung der Sonnendistanz nach sich zieht, so wird man der hohen Bedeutung von Ereignissen inne, die nur zweimal im Jahrhundert, und noch dazu in verhältnismäßig rascher Folge, eintreten. Je drei Generationen bleiben durchschnittlich von der Teilnahme an der Beobachtungsthätigkeit ausgeschlossen, und es liegt daher Denen, die sich daran beteiligen können, eine besonders hohe Verpflichtung ob. Schon 1869 und 1870 veröffentlichten A. V. Puiseux (1820 bis 1883) und P. A. Hansen (1795—1874) Monographien über die beste Art und Weise, wie aus den bevorstehenden Venusdurchgängen Nutzen zu ziehen sei, und auch Airy und Th. v. Oppolzer (1841—1883) gaben entsprechende Fingerzeige. Trefflich vorbereitet, wurden abermals nach allen Seiten hin Expeditionen ausgesandt, die natürlich auch schon von dem Rüstzeuge der Astrophysik zweckdienlichen Gebrauch zu machen verpflichtet waren. Abgesehen von den bestehenden Sternwarten, die natürlich insoweit an der Beobachtung teilnahmen, als es ihre geographische Lage erlaubte, wurden nicht weniger als 62 auswärtige, fliegende Stationen begründet; das Deutsche Reich und Frankreich organisierten von denselben je 6, England 12, Holland 1, Italien 3, die Union 12, Rußland sogar 26, weil eben seine ungeheuren asiatischen Territorien die günstigsten Umstände darzubieten schienen. Leider hat gerade hier die Witterung, die so oft schon bei ähnlichen Unternehmungen einen Strich durch die Rechnung gemacht hatte, keine guten Messungen zu stande kommen lassen, und dieser Mißerfolg verstimmte dortselbst derart, daß man 1882 weit weniger energisch die Ausrüstung von Stationen betrieb. Aus den Resultaten von 1874 zog Puiseux den Schluß, daß $\pi = 8{,}879$ Sekunden sei. Um ein möglichst zuverlässiges und einheitliches Schema zu erhalten, nach welchem sämtliche Beobachtungen sich richten konnten, trat im Oktober 1881 zu Paris eine internationale Konferenz zusammen, die sich über gewisse leitende Grundsätze einigte, und als dann die kritische Zeit herankam, wurde die Arbeit in großem Stile aufgenommen. Deutschland ließ Expeditionen nach dem Kingawa=

Fjord, nach der Insel Süd-Georgien, nach Ceylon, Bahia Blanca, Punta Arenas (an der Magalhaensstraße) und nach noch einigen weiteren Orten abgehen, und auch die anderen Nationen blieben nicht zurück. Indem Auwers die Daten von 1874 und 1882 zusammenhielt, fand er als wahrscheinlichsten Wert für π, mit Powalky recht gut übereinstimmend, 8,880 Sekunden, und zwar beträgt der sogenannte mittlere Fehler nur $+$ 0,032 Sekunden. Der amerikanische Astronom Harkneß hingegen schloß aus den Heliometerbeobachtungen auf eine Parallaxe von 8,842 und aus der Ausmessung der photographischen Platten auf eine solche von 8,881 Sekunden, was fast genau mit der Auwersschen Zahl übereinstimmt. Nach der Meinung R. Wolfs würde $\pi = 8{,}885$ ($\pm$ 0,021) Sekunden zu setzen sein. Hält man sich nur an die ganze Zahl und an die beiden ersten Dezimalen, so ist ein Ergebnis erzielt, dem ein hoher Grad von Wahrscheinlichkeit zugehört. Je runder Zahl wird man aber nach wie vor die lineare astronomische Fundamentaleinheit auf 20 Millionen geogr. Meilen zu veranschlagen berechtigt sein.

Die Halley-Delislesche Methode der Venusdurchgänge ist übrigens nicht die einzige, die es giebt, wenngleich doch wohl die bei richtiger Häufung und Verteilung der Beobachtungsplätze meistversprechende. Schon im 17. Jahrhundert hat man dem Ziele auch auf anderen Wegen sich zu nähern gesucht, und unsere Zeit ist gelegentlich immer wieder zu den älteren Methoden zurückgekehrt, indem sie folgerichtig dieselben den in mancher Beziehung veränderten Verhältnissen anpaßte. Man kennt die Umlaufszeiten und Massen der einzelnen Planeten recht genau; ist dann noch weiter auch die Entfernung irgend eines Planeten von der Erde scharf bestimmt, so führt das erweiterte dritte Keplersche Gesetz unmittelbar zur Kenntnis des Abstandes von Erde und Sonne. C. Gerling (1788—1864) und J. Gilliß (1811—1865), der nachmalige Direktor des „Naval Observatory“ in Washington, wählten als den Probeplaneten die Venus, ohne jedoch die mancherlei Schwierigkeiten der europäisch-amerikanischen Korrespondenz-Beobachtungen nach Wunsch überwinden zu können; F. A. Th. Winnecke und O. Stone (geb. 1847) hielten sich an

die vorteilhafte Opposition des Mars im Jahre 1862, welche $\pi = 8{,}94$ Sekunden lieferte; Galle endlich, der Auffinder des Neptun, wies auf die Planetoiden als Vermittlungsgestirne hin und gewann mehrere Sternwarten im Jahre 1873 für die Anstellung von Simultanbeobachtungen der Flora, aus denen $\pi = 8{,}873$ Sekunden folgte. In den Jahren 1888 und 1889 hat endlich D. Gill die Parallaxen dreier kleiner Planeten heliometrisch festgelegt und, je nachdem er Victoria, Sappho oder Iris auswählte, die nachstehenden Beträge ermittelt: $\pi = 8{,}8013$; $\pi = 8{,}7981$; $\pi = 8{,}8120$ Sekunden. Als Mittel dieser Zahlen nimmt Gill, indem er zuvor noch gewisse systematische Fehler ausmerzt, $8{,}802 \pm 0{,}005$; man sieht, daß die Übereinstimmung der mit ganz verschiedenen Hilfsmitteln für die Sonnenparallaxe gefundenen Werte eine erfreuliche genannt zu werden verdient.

Das Distanzproblem zeigt so recht deutlich, daß auf astronomischem Gebiete nur dann ein Vorwärtsschreiten ermöglicht ist, wenn die besten Beobachtungs- und Berechnungsmethoden einander hilfreiche Hand bieten. Nicht anders verhält es sich auch bei der Bahnbestimmung der bewegten Himmelskörper, deren Anzahl sich gegen früher neuerdings so wesentlich vermehrt hat. Und zwar brauchen wir nicht gleich an die kompliziertesten Problemstellungen zu denken, sondern gleich die uralte, approximativ bereits von Chinesen, Indern und Babyloniern erfüllte Forderung, Mond- und Sonnenfinsternisse vorauszuberechnen, ist keine ganz einfache, wenn dabei darauf gesehen wird, daß die Eintrittszeiten der einzelnen Phasen auch auf die Sekunde eingehalten werden. Der Gegenwart haben insbesondere die 1842 und 1854 publizierten Arbeiten Bessels und J. A. Grunerts den Weg gewiesen; eine noch neuere systematische Anleitung zum Finsterniskalkül, der zugleich die Lehre von den Sternbedeckungen umschließt, hat C. Berry im Jahre 1880 gegeben. Will man die immerhin mühsame Rechnung vereinfachen und doch ein sicheres Bild von dem Verlaufe der Begrenzungslinien der Verfinsterungszone auf der Erdoberfläche erhalten, so kann man die graphischen Darstellungen zur Anwendung bringen, wie solche bereits der ältere Tob. Mayer 1745 vorgezeichnet hat. A. Cayley (1821—1895),

vielleicht der hervorragendste englische Mathematiker der Neuzeit in der zweiten Jahrhunderthälfte, hat 1871 ein solches Verfahren angegeben, und ihm folgte 1877 A. N. Tissot (geb. 1824), dem wir weiter unten wieder begegnen werden.

Die Begründung der Himmelsmechanik, von Newton angebahnt, von den großen Analytikern des 18. Jahrhunderts gefördert und durch Laplace und Gauß zum einstweiligen Abschlusse gebracht, war in dem Zeitpunkte, mit welchem dieser Abschnitt beginnt, eine vollzogene Thatsache; gerade die Errechnung des Neptun im Jahre 1846 gab ja eben den glänzendsten Beweis von der Tragfähigkeit des von den genannten Männern gelegten Unterbaues. So Großes auch später noch geleistet, so umsichtig auch namentlich das Detail des astronomischen Zahlenrechnens vervollkommnet ward, es trägt doch die theoretische Astronomie der neuesten und allerneuesten Zeit das Gepräge des Korollars gegenüber den unvergänglichen und unverbrüchlichen Wahrheiten, die bereits früher erkannt worden waren. Zusammenfassende Werke, aus denen die kommenden Geschlechter die Praxis der Bahnbestimmung erlernen können, schufen 1868 J. C. Watson (1838 bis 1880), 1871 E. F. W. Klinkerfues (1827—1884) und zwischen 1870 und 1880 der leider allzufrüh abgerufene Th. v. Oppolzer: das Klinkerfuessche Werk hat 1900 durch Buchholz eine sehr zweckentsprechende Neubearbeitung erfahren. Freunde der Astronomie, die, lediglich mit elementarmathematischem Wissen vertraut, doch einen tieferen Einblick in die Geheimnisse der Mechanik des Himmels werfen möchten, können keinen besseren Ratgeber als ein von J. Frischauf (geb. 1837) herausgegebenes Werkchen (Graz 1868) finden. Auch für den geschichtlichen Teil der einschlägigen Fragen kann man sich jetzt in dem sehr anregend geschriebenen Buche (Leipzig 1887) von N. Herz (geb. 1858) Rats erholen. Speziell die Störungsrechnung ist durch Tisserand, C. Delaunay (1816—1872) und H. Gyldén (1841—1896) ungemein vervollkommnet worden, und gerade dieser schwedische Astronom war es auch, der in einem 1877 veröffentlichten Lehrbuche diesen zweifellos schwierigsten Teil seiner Wissenschaft mustergültig zu popularisieren verstand. Die älteren Rechnungsmethoden, welche übrigens

in der Herstellung der ausgezeichneten Mondtafeln von Hansen (1857) und Delaunay (1878) einen hohen Triumph gefeiert hatten, litten allerdings an einer so tiefgehenden Verwicklung, daß wohl nur wenige der mutigsten Leser sich durch das Formellabyrinth hindurchzuarbeiten wagten. A. Weiler (geb. 1827) suchte deshalb seit 1866 zu wiederholten Malen für eine andere Auffassung des grundlegenden Dreikörperproblemes Stimmung zu machen, aber erst Gyldén wies 1881 betretbare Wege nach, um die vom Planeten wirklich zurückgelegte, der Störungen wegen von einer Ellipse abweichende Bahn, die er als intermediär bezeichnete, mit großer Annäherung bestimmen zu können. Unter dem analytischen Gesichtspunkte lieferte 1892 der berühmte französische Mathematiker J. H. Poincaré (geb. 1854) ein den modernen Standpunkt trefflich kennzeichnendes Werk, welches als das natürliche geschichtliche Gegenstück zu seines großen Landsmannes Laplace „Mécanique céleste“ betrachtet werden darf. Die Bedürfnisse der astronomischen Jahrbücher erheischen in steigender Progression astronomische Hilfskräfte, die zumal mit der verzweigten Praxis dieser Rechnungsarten vertraut sind. Solche heranzubilden ist das astronomische Rechnungsinstitut der Berliner Universität bestimmt, welches unter der Leitung F. Tietjens (1834—1895), eines gewiegten Kometen- und Planetenberechners, segensreich gedieh und nach dessen Tode von J. Bauschinger im gleichen Geiste weitergeführt wird.

Die Bahnen der Planeten — die der kleinen freilich nur teilweise — liegen in ihren Elementen als bekannt vor, und wenn trotzdem auch über sie noch rührig weitergearbeitet wird, so kommt es dabei doch nicht mehr auf eigentlich thatsächliche Feststellungen, sondern mehr nur auf Verfeinerungen an. Ganz anders verhält es sich mit den Kometen, denn solche tauchen, da ihrer ja nach Kepler im Weltraume „so viele, wie Fische im Meere,“ ihr Wesen treiben, immer wieder von neuem auf, und die Himmelspolizei muß durch Evidenthaltung der Bahnverzeichnisse ihren Kontrolledienst ausüben. So giebt es denn auch gewissermaßen berufsmäßig thätige Berechner von Kometenbahnen; Wolf teilt mit, daß Hind 43, d'Arrest 35, C. Bruhns (1830—1881) 21, Yvon

Villarceau (1813—1883) 15, ja Encke sogar 46 solche Bahnberechnungen ausgeführt hat. Als Kometenentdecker sind in neuerer Zeit Tempel, Gould, M. Wolf u. a. zu nennen. So merkwürdige Schweifsterne, wie die, mit denen uns der fünfte Abschnitt bekannt machte, sind in neuester Zeit kaum mehr erschienen; weitaus der großartigste war ohne Zweifel der nach G. Donati (1826 bis 1873) benannte Komet des Jahres 1858, den man auf der anderen Halbkugel noch bis in den März des folgenden Jahres hinein beobachten konnte. Nächstdem verdient der Septemberkomet von 1882 Erwähnung, der am 3. Oktober bereits auf Neu-Seeland mit freiem Auge gesehen ward, selbst noch in nächster Nähe des Perihels seines ungewöhnlichen Glanzes halber sichtbar blieb und später eine Zweiteilung, derjenigen des Bielaschen Kometen ähnlich, erlebt zu haben scheint. H. Kreutz (geb. 1854) fand 1891, daß dieser merkwürdige Himmelskörper eine äußerst excentrische Ellipse um die in seinem einen Brennpunkte stehende Sonne beschreibt und dazu 772 Jahre benötigt. Im gleichen Jahre nahm E. Lamp die Untersuchungen über den 1846 von Th. Brorsen (geb. 1819) entdeckten Kometen wieder auf, der seinen periodischen Lichtveränderungen es dankte, für das neben den Kometen von Encke und Biela interessanteste Mitglied der Gruppe von Schweifsternen kurzer Umlaufszeit gehalten zu werden. Seit 1884 hat man ihn nicht mehr gesehen, und da er, wie Harzer wahrscheinlich machte, erst durch die übermächtige Massenanziehung des Jupiter in seine gegenwärtige Bahn hineingezwungen wurde, so ist er vielleicht dieser durch eine zweite attraktive Einwirkung wieder entfremdet worden. L. Fabry hat gezeigt, daß eine starke Attraktion unter Umständen ausreicht, um eine excentrisch-elliptische Bahnkurve in eine hyperbolische zu verwandeln, und in solchem Falle verschwindet der Komet natürlich auf Nimmerwiedersehen im unendlichen Raume. Vielleicht ist jedoch mit Lamp anzunehmen, daß der 1891 erschienene, Dennings Namen tragende Komet mit einem der beiden Stücke identisch ist, in welche der Brorsensche Komet sich zerteilte. Die ersterwähnte Vermutung dagegen würde dem von K. Schwarzschild gefundenen Lehrsatze entsprechen, daß die elliptische Bahn eines von einem Planeten sozusagen eingefangenen

Planeten niemals die richtige Stabilität erhält. Seit 1897 ist eine neue und wichtige Frage verwandten Gepräges aufgetreetn, indem Berberich die Möglichkeit erörterte, daß der Komet Perrine in Wahrheit das eine Fragment des Kometen Biela sein könnte, welch letzterem abermals durch die Jupiterstörungen eine veränderte Bahn aufgenötigt worden wäre. Auf die gleiche Ursache führen F. A. Bredichin (geb. 1831) und C. F. Chandler (geb. 1836) den Umstand zurück, daß beim fünften Kometen des Jahres 1889, dem Kometen Brooks, sogar eine Vierteilung beobachtet wurde. Laplace, dessen Beweisführung Gauß und Seeliger jedoch für verbesserungsbedürftig erklärt haben, erachtete als Normalform der Kometenbahnen die parabolische; Schiaparelli auf der anderen Seite ist der Meinung, daß die meisten kosmischen Wolken, die als Kometen oder Meteorschwärme in die Erscheinung treten können, ursprünglich in einer Hyperbel einhergingen und erst zwangsweise unserem Sonnensysteme einverleibt wurden. Eine sorgfältige Prüfung dieser Hypothese ist vor ganz kurzer Zeit von L. Schulhof (geb. 1850) angestellt worden, und zwar glaubt dieser Astronom der Ansicht zuneigen zu müssen, daß in der That elliptische Kometenbahnen von geringerer Excentrizität der Natur der Sache nach selten sind, und daß Kometen, von denen dies erwiesen ist, entweder durch einen von außen kommenden Impuls in solche Bahnen gelenkt wurden, falls man nicht umgekehrt eine stete Neubildung der periodischen Kometen aus losem und zerstreutem Weltenbaustoffe befürworten will. Aus unserer Darlegung folgt jedenfalls, daß die Kometen nicht notwendig von Hause aus Bürger des Sonnensystemes sind, dasselbe vielmehr großenteils nur zeitweise bewohnen; die Bahnen, in denen sich einzelne dieser Himmelskörper der Sonne näherten, sind den Rechnungen Thraens und Strömgrens zufolge sicherlich hyperbolisch gewesen. Es ist dann auch die Entstehung der Kometengruppen, wie Berberich benachbarte, in wenig verschiedenen Bahnen sich bewegende Schweifsterne nennt, leichter zu begreifen, ohne daß mit Notwendigkeit an den — ebenfalls nicht ausgeschlossenen — Selbstteilungsakt gedacht werden muß.

Unsere historische Erzählung hat uns schon mitten hinein geführt in jene modernen Theorien, welche auf der 1867 von Schiaparelli geschaffenen Basis erwachsen sind. Mit dieser Schrift, von welcher 1871 G. H. v. Boguslawski (1827—1884) eine gute deutsche Übersetzung besorgte, hat der Mailänder Astronom seine großartige wissenschaftliche Laufbahn würdig eingeleitet, indem er zwischen zwei bis dahin als ganz disparat angesehenen Klassen von Weltkörpern einen innigen Zusammenhang herstellte und, kurz gesprochen, die Losung ausgab: Kometen sind Aggregate von Meteoriten, und Meteorschwärme sind aufgelöste Kometen. Der divinatorischen Ansicht Morstadts gedachte Abschnitt V. Den ganzen intraplanetaren Raum kann man sich, wie J. Kleiber 1892 bei seiner Wahrscheinlichkeitsbetrachtung über die Anzahl der überhaupt vorhandenen Kometen andeutet, durch ein an eine Staubwolke erinnerndes, aus kleinen Körperchen zusammengesetztes Medium angefüllt denken, dessen Dichte mit wachsender Entfernung von der Sonne abnimmt. Das ist der Baustoff, aus dem je nach Umständen die eine oder andere Art von Weltkörpern entsteht; vielleicht zuerst eine Meteoritenwolke und aus dieser, durch gelegentliche Verdichtung, ein Komet von bekanntlich immer noch recht lockerem Gefüge. „Halten wir," sagt Seeliger, „an dem engen Zusammenhange zwischen Sternschnuppenschwärmen und Kometen fest, so würde ein solcher Schwarm bald da, bald dort die physikalischen Bedingungen erlangen, welche ihn als Kometen erscheinen lassen." In vielen Fällen wird als solche Bedingung die Lokalanziehung eines Planeten zu gelten haben, in dessen Nähe den Schwarm sein Weg führte; in anderen Fällen wird die Ursache eine andere sein, möglicherweise das Walten von Polarkräften, denen der nächste Abschnitt Rechnung tragen wird. Zunächst ist jedoch zu betonen, daß Schiaparelli nicht etwa durch solche, immerhin plausible Erwägungen zur Aufstellung seiner Theorie veranlaßt wurde, sondern daß ihn eine rein mathematische, aus der Aufsuchung der Bahnelemente einiger Schwärme abgezogene Erkenntnis leitete. Einzelne Sternschnuppenschwärme folgen den gleichen elliptischen Bahnen, die man für Kometen ermittelt hat. Erstere bewegen sich also

um die Sonne, und wenn sie auf dieser Bahn diejenige der Erde kreuzen, so sieht man natürlich eine weit größere Menge der leuchtenden Körperchen das Firmament durchlaufen, als dies zu anderen Zeiten erwartet werden kann. Auch leuchtet ein, daß die große Mehrzahl derselben von einer bestimmten Stelle des Himmelsgewölbes herkommt, die man Radiationspunkt — besser wäre Radiationsbezirk — nennt. H. A. Newton (geb. 1830), der für sich allein der Entdeckung Schiaparellis sehr nahe gekommen war, D. Olmsted (1791—1859), Herrick, Heis, Denning und, als ein besonders hingebend diesen Untersuchungen sich hingebender Forscher, G. v. Nießl (geb. 1839), mögen noch als eifrige Meteoritenforscher genannt sein. So legte man den aus dem Sternbilde des Löwen ausstrahlenden Schwarm der Leoniden fest, der um den 12. November herum seine großartigste Entfaltung zeigt und eine Umlaufsdauer von 33¹/₄ Jahren besitzt; nicht minder die schon durch die Namen bezüglich der Radiationsverhältnisse fixierten Perseiden („Thränen des heiligen Laurentius"), die nach Charles schon im Jahre 582 n. Chr. beobachteten Lyriden, die Andromediden u. s. w. Kaum der Erwähnung bedarf es, daß es der Bahnbestimmung sehr willkommen sein muß, von älteren Beobachtungen einer solchen Erscheinung Gebrauch machen zu können, weshalb die von E. Biot im Jahre 1846 bekannt gemachten Auszüge aus chinesischen Quellen großen Wert beanspruchen durften. Davon, daß die kosmischen Vaganten, die jedenfalls ursprünglich dunkel waren und sich erst beim raschen Durchschneiden unserer Lufthülle, den bekannten Gesetzen der Beziehung zwischen Massen- und Molekularbewegung gemäß, aufs äußerste erhitzen, mitunter auch zur Erde niederfallen, sind wir bereits unterrichtet; Sache der Astrophysik und der in ihren Dienst tretenden Mineralchemie ist es, über die Zusammensetzung dieser Meteore Auskunft zu geben. H. Bornitz hat 1892 eine dankenswerte kartographische Statistik der bekannten Meteorfunde geliefert, deren es fast 500 giebt.

Mit der von Schiaparelli vermittelten Einsicht in das innige Wechselverhältnis zwischen den beiden Erscheinungsformen der Konglomerate kleiner Weltkörperchen war viel gewonnen, allein

die Forschung hat sich gleichwohl nicht damit begnügt, sondern den Nachweis angetreten, daß nicht alle Meteoritenschwärme ohne weiteres mit Kometen identifiziert werden dürfen. Es war hauptsächlich v. Nießl, der darauf hinwies, daß nicht selten Meteorsysteme direkt aus dem Weltraume in unser Planetensystem eindringen. Auch jene halbjährige Periode der Sternschnuppenfrequenz, die A. Herschel, der Sohn und Enkel je eines der hervorragendsten Astronomen, schon im Jahre 1864 wahrnahm, läßt sich nach G. Bompas nur verstehen, wenn man zugiebt, daß viele Meteore mit unabhängiger kosmischer Geschwindigkeit zu uns gelangen. Allein sollte deswegen Schiaparellis Gedankengang, dem man doch greifbar richtige Ergebnisse verdankte, für falsch erklärt werden? In seiner Polemik gegen Newton warf v. Nießl das entscheidende Wort in die Diskussion: Sollte es nicht am Ende zwei ganz verschiedene Kategorien von Meteoriten geben? Schiaparelli selber hat die Frage für diskutabel erklärt, „ob die Sternschnuppen und die Meteoriten ein und derselben Klasse angehören", und auch Denning nahm für jene besonders hellen, einen Lichtschweif nach sich ziehenden Individuen, die man Feuerkugeln zu nennen pflegt, eine Ausnahmestellung in Anspruch. Umsichtig hat Berberich das Stadium gekennzeichnet, in welches die Meteoritenlehre zu Beginn der neunziger Jahre eingetreten war, und in dem sie sich der Hauptsache nach auch jetzt noch befindet. Es giebt zwei grundverschiedene Gruppen von Meteoriten; solche, die sich mit planetarischer Geschwindigkeit bewegen, und die sich der Schiaparellischen Theorie unterordnen, aber auch solche, denen kosmische Geschwindigkeit eignet und die, ohne mit Kometen etwas zu thun gehabt zu haben, unser Sonnensystem zu durchdringen suchen, was vielleicht den einen gelingt, während wieder andere in den Bahnkreis eines Planeten eintreten und dessen Schwerewirkung anheimfallen. Bezüglich der letzteren Gattung darf an eine Abschleuderung von entlegenen Gestirnen im Sinne jener Hypothese vom kosmischen Vulkanismus gedacht werden, welche der Mineraloge G. Tschermak (geb. 1836) als Ergänzung der bekannten Nebularhypothese ausgebildet hat. Das 20. Jahrhundert übernimmt die

Weiterführung der in ein neues Fahrwasser geleiteten Theorie, die zu allererst recht viele genaue Orts- und Bahnbestimmungen zur Verfügung zu erhalten trachten muß. Was erstere anlangt, so hat man dieselben durch gewisse maschinelle Vorrichtungen (Meteoroskope) zu vervollkommnen und von subjektiver Schätzung thunlichst frei zu machen gesucht. Heis, B. G. Neumayer (geb. 1826), der allerdings zunächst mehr das Tierkreislicht im Auge hatte, und neuerlich R. Lehmann-Filhès (geb. 1854) haben solche Apparate konstruiert, die für die Punkte des Aufleuchtens und Verschwindens einer Sternschnuppe Rektascension und Deklination bequem zu ermitteln gestatten. Weitere, nicht unwichtige Nachrichten über den zuletzt besprochenen Erscheinungskomplex sparen wir für die Astrophysik auf, wo sich auch ganz von selbst anzureihen haben wird, was über den Fortschritt unseres Wissens von dem als Zodiakallicht bekannten Phänomene ausgesagt werden kann.

Wir verlassen unser Sonnensystem und wenden uns dem Stellarraume zu. Schon Bessel und W. v. Struve hatten, unseren früheren Angaben gemäß, die Theorie der Doppelsterne mehrfach gefördert und insbesondere dadurch die hergebrachten Anschauungen wesentlich umgeformt, daß sie die Bewegung eines hellen Körpers um einen dunklen Körper für möglich und in der Natur wirklich vorkommend erklärten. Bessel war auch der erste, der einen Katalog der Doppelsterne aufstellte, und ihm folgten darin 1847 sein Schüler M. L. G. Wichmann (1821 bis 1859), 1851 und 1861 J. Wrottesley (1798—1869), 1864 B. E. Powell, der den Südhimmel nach solchen Objekten durchforschte, 1875 W. Meyer, der auch eine interessante Geschichte der Doppelsternastronomie beigab, 1884 E. Dembowski (1812 bis 1881), dessen in mehr denn dreißig Jahren angesammeltes Material den Stand der Wissenschaft in jener Zeit erschöpfend zum Ausdruck brachte, und 1889 F. P. Leavenworth (geb. 1858). Gestützt auf eine so reiche Auswahl empirischer Thatsachen konnte denn auch die Berechnung der Doppelsternbahnen ernstlicher in Angriff genommen werden. Im Anschlusse an die hierfür aufgestellten Methoden von F. Savary (1797—1841) und Encke wurde

das Berechnungsverfahren stetig verbessert, und insonderheit muß Yvon Villarceau und Klinkerfues das Verdienst zugesprochen werden, die Theorie dieses Teiles der Himmelsmechanik weitergebildet zu haben. Und daß dieselbe ihre besonderen Schwierigkeiten haben mußte, ist leicht einzusehen. Zwar beherrscht das Newtonsche Gravitationsgesetz auch diese entlegenen Regionen, und ohne diese Erleichterung wäre wohl auch an Bahnbestimmungen kaum zu denken. Hingegen sind die beiden Körper, welche anziehend aufeinander wirken, nicht, wie im Sonnensysteme, verschieden, sondern miteinander wesentlich gleichberechtigt. Das Newtonsche Gesetz der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung, welches bei Planetenrechnungen durch die gewaltige Präponderanz der Sonnenmasse gegenüber der Planetenmasse nahezu unwirksam gemacht wird, bethätigt nunmehr seine ganze Kraft, und es kann demzufolge nicht mehr davon die Rede sein, daß sich ein Körper um einen anderen, stabilen herumbewege, sondern beide Körper bewegen sich um den gemeinschaftlichen Schwerpunkt ihres Systemes. Neuere Vervollkommnungen der durch diesen besonderen Charakter der Aufgabe geforderten Berechnungsregeln gaben A. de Gasparis (1819—1892), T. N. Thiele (geb. 1838) und A. Marth (geb. 1828); des weiteren sind auch in theoretischer Beziehung, indem sie die Auffindung der Fehler und deren Unschädlichmachung am konkreten Beispiele lehren, die Bestimmungen von Wert, welche 1856 Winnecke für η Coronae borealis und 1892 E. Großmann für den gleichen, sich bereits einer gewissen Berühmtheit erfreuenden Doppelstern geliefert haben. Bessels Vermutung, daß Sirius Bestandteil eines Doppelsternsystemes sein müsse, hatte C. A. Peters rechnerisch zu rechtfertigen gesucht, und ihm ward für diese mühevolle Arbeit eine Belohnung zu teil, welche geradezu mit Galles Bestätigung des Leverrierschen Rechnungsresultates verglichen werden darf. Im Jahre 1862 durchsuchte nämlich A. Clark (1804—1887) an der Hand von Peters' Ephemeride die nähere Umgebung von α Canis majoris und fand da, wo er ihn finden zu können hoffte, auch wirklich das zweite, zufällig unverhältnismäßig lichtschwächere Glied des Siriussystemes auf. Seitdem ist dasselbe zum öfteren beobachtet worden. Auwers

lieferte in der Zeit zwischen 1862 und 1868 eine umfassende Untersuchung über die Art und Weise, wie veränderliche Eigenbewegungen, die dadurch eben sich als Zentralbewegungen verraten, dem Kalkül unterworfen werden können, und erprobte sein Verfahren auch gleich bei Prokyon, auf den man ja ebenfalls seit Bessels Zeit den Argwohn, kein einfacher Stern zu sein, geworfen hatte. Der Begleiter — Trabant wäre zu viel gesagt — von α Canis minoris vollzieht nach Auwers einen Umlauf in nahe 40 Jahren. Gesehen hat diesen zweiten Stern des Prokyonsystemes allerdings noch kein Sterblicher, allein an seinem Dasein ist nicht zu zweifeln, wie L. Struves Revision vom Jahre 1883 ergeben hat; ein Stern, den Schaeberle von der Lick-Sternwarte 1896 entdeckt und als zu Prokyon gehörig angesprochen hat, stand nicht an dem Orte, an dem man den Begleiter auf Grund der von Auwers gegebenen Bahnbestimmung gesucht haben würde. Inwiefern die letztere mit derjenigen, die weit später von See ausgeführt ward, in Übereinstimmung zu bringen ist, kann an diesem Orte natürlich nicht entschieden werden und inwieweit gewisse veränderliche Sterne gleichfalls in die Reihe jener Doppelsterne hereingezogen werden müssen, deren einer hell, deren anderer dagegen dunkel ist, können wir erst später untersuchen, weil das maßgebende Beobachtungswerkzeug das Spektroskop ist.

Darüber, daß es auch mehrfache Sterngruppen giebt, daß also drei und sogar noch mehr Sterne um den gemeinsamen Schwerpunkt ihre verwickelten Bahnen beschreiben, konnte schon seit geraumer Zeit kein Zweifel obwalten; Flammarion gab 1878 eine Zusammenstellung solcher Systeme, und auch im Kataloge Dembowskis haben viele derselben Aufnahme gefunden. Der kühne Versuch, die Bewegungsverhältnisse eines dreifachen Sternsystemes der analytischen Behandlung zu unterwerfen, ist jedoch anscheinend erst einmal mit Erfolg unternommen worden, und zwar durch Seeliger, der sich (1881 und 1888) den Stern ζ cancri, der eben im Fernrohre in drei Einzelsterne aufgelöst wird, als Objekt ausersah. Es ist betont worden, daß schon im Bereiche unseres Sonnensystemes das Problem der drei Körper als ein überaus schwieriges erscheint, und diese Schwierigkeit steigert sich

begreiflicherweise gar sehr, wenn nicht zwei von den dreien dem dritten gegenüber untergeordnet sind, sondern wenn, wie in der Fixsternastronomie selbstverständlich, angenäherte Gleichberechtigung zwischen den drei sich unausgesetzt anziehenden und störenden Massen stattfindet.

Auch ohne Zuhilfenahme der astrophysikalischen Methoden wächst die Anzahl der zwei- und mehrfachen Sterne beständig an. So konnte Burnham, der am 36-Zöller der Lick-Sternwarte beobachtet, folgeweise eine ganze Reihe von Verzeichnissen, in denen neue Objekte dieser Art aufgezählt werden, veröffentlichen. Ein Burnhamscher Doppelstern, früher als solcher nicht bekannt, zeichnet sich durch eine überraschend kurze Umlaufszeit aus. Bahnbestimmungen in größerer Anzahl führte in den neunziger Jahren S. v. Glasenapp (geb. 1848) aus. Man hat auch gefunden, daß ein dem Augenscheine nach doppeltes System in Wirklichkeit ein mehrfaches sein kann; so fanden sich z. B. bei dem Sternenpaare 61 Cygni, das durch Bessels Parallaxenmessung eine klassische Bedeutung erlangt hat, unerklärbare Distanzänderungen der beiden Komponenten, für welche Wilsing die Einwirkung unsichtbarer Partner verantwortlich machen zu können glaubt.

Nächst den mehrfachen Sternen haben von jeher auch die Sternhaufen die Aufmerksamkeit der Himmelsbeobachter auf sich gezogen; scheinbare Nebel, die aber vor der raumdurchdringenden Kraft des Fernrohres in Ansammlungen dicht gedrängter Sternchen sich auflösten. Die Plejaden, die Hyaden, die Nebelmasse im Schwertgriffe des Perseus sind bekanntere Beispiele. Den letztgenannten Sternhaufen haben Lamont, Krüger und 1878 der später als Spektroskopiker berühmt gewordene H. C. Vogel (geb. 1842) genau beschrieben; von dem altbekannten Siebengestirne liegen gute Zeichnungen und Mikrometermessungen von Tempel und C. Wolf in Paris vor. Eine mustergiltige Monographie über eine solche astronomische Individualität ist diejenige, welche 1874 F. R. Helmert (geb. 1843) über einen Sternhaufen im Sobieskyschen Schilde geliefert, und ähnliche Arbeiten wurden in den achtziger Jahren von H. Schultz (1823—1890), K. W. Valentiner (geb. 1845) und Peter ausgeführt. Der jüngsten Vergangen-

heit endlich gehört Schurs Vermessung des auch schon in älterer Zeit unter dem Namen Praesepe (im Sternbilde des Krebses) bekannten Haufens an, der jeder Eigenbewegung zu entbehren scheint.

Häufig freilich erlahmt auch des stärksten Teleskopes auflösende Kraft an einem Objekte, welches alsdann als Nebelfleck, als eine durchaus gleichförmig schimmernde, nicht weiter differentiierte Masse aufzufassen ist. Die Fernrohrastronomie vermag als solche einen absolut giltigen Unterschied zwischen Sternhaufen und Nebelflecken nicht zu treffen, aber auf spektralanalytischem Wege ist dieses Ziel gleichfalls erreicht worden. Immerhin hat man auch schon durch die älteren Methoden wertvolle Aufschlüsse über diese kosmischen Gebilde erhalten, von denen zwei bereits im 17. Jahrhundert — derjenige im Orion von Cysatus und derjenige in der Andromeda von Simon Marius — entdeckt worden sind. Der erstere ist zur Zeit wohl als der best erforschte zu bezeichnen, zumal seitdem Lord Rosse seinen Riesenreflektor auf ihn gerichtet und künstlerisch schöne Abbildungen des Gesehenen der Öffentlichkeit übergeben hat. Noch mehr ins Detail geht das 1882 herausgekommene Werk von E. Holden (geb. 1846) über den Orionnebel ein. Es hat sich auch, obwohl W. Herschel dies noch nicht recht anerkennen wollte, herausgestellt, daß es physische Doppelnebel giebt, die ganz so, wie physische Doppelsterne, zusammengehören; d'Arrest hat solche Paare, die eine unverkennbare Bewegung zeigen, in größerer Anzahl nachgewiesen, so daß die Hoffnung, dereinst auch einmal Doppelnebelbahnen berechnen zu können, kaum illusorisch genannt werden kann. Einen umfassenden, nicht weniger denn 5079 Einzelnummern aufweisenden Katalog dankt man J. Herschel (1864), der sich auf die Vorarbeiten seiner Tante Karoline stützen durfte; J. L. Dreyer (geb. 1852) hat durch seine Supplemente (1878 und 1888) diese Anzahl, allerdings auch Sternhaufen mit eingerechnet, bis 7840 hinaufgetrieben. Von besonderem Interesse für die Entwicklungsgeschichte der Weltkörper sind physische Veränderungen der Nebel, wie denn schon Winnecke Veränderungen ihrer Lichtstärke nachgewiesen hat, und zumal das Auftreten einer Nova, eines hellen, sternähnlichen Zentralpunktes, giebt zu mannigfacher Hypo-

thesenbildung Veranlassung. Indessen ist dies gerade ein Gebiet, auf welchem die Spektralanalyse die ihr innewohnende Kraft entfalten kann.

Wir wollen hiermit unseren Bericht über die neuesten Fortschritte der beobachtenden und berechnenden Astronomie abbrechen, einen Bericht, dem notwendig noch ein etwas aphoristischer Charakter anhaftete, weil eben jenes kräftigste der modernen Instrumente, das die ältere Sternkunde aus den Händen der Astrophysik empfing, vorläufig von der Betrachtung ausgeschlossen werden mußte. Kurze Erwähnung ist noch der astronomischen Litteratur unseres Zeitraumes zu widmen. Die früher schon in Deutschland gerne gepflegte Kunst, schwierige Erkenntnisse in gemeinverständlicher Form einem größeren Publikum nahe zu bringen, hat sich entschieden vervollkommnet, und die populären Werke, welche man von Maedler, J. J. v. Littrow und E. Weiß, H. J. Klein, W. Meyer, Valentiner u. a. erhalten hat, trugen mächtig dazu bei, den ohnehin schon bei uns bestehenden Sinn für eine der schönsten Naturwissenschaften zu fördern. Doch blieb auch das Ausland keineswegs zurück, wie die auch in unserem Lande weit verbreiteten Lehrbücher des Schweden Gyldén und des Amerikaners Newcomb darthun mögen. Erfreulich ist auch der Umstand, daß vielleicht in keinem anderen Zweige der Naturwissenschaften der historische Sinn sich so kräftig geoffenbart hat, wie gerade in diesem. Wir erinnern nur an die zahlreichen geschichtlichen Essays des hochverdienten zeitigen Direktors der Berliner Sternwarte W. Foerster (geb. 1832), der insbesondere die richtige Wertschätzung des größten astronomischen Genies des 17. Säkulums, J. Keplers, angebahnt hat. Die großartige, vorab auch bezüglich des Kommentares kaum zu übertreffende Ausgabe aller Keplerschen Schriften, die Ch. Frisch (1807—1881) in den Jahren 1858 bis 1871 in acht Bänden besorgte, bildet ein nach allen Seiten mustergiltig dastehendes Nationaldenkmal, und die an N. Coppernicus' Centenarfeier (1873) anknüpfenden Arbeiten von L. F. Prowe (1821—1887) und M. Curtze (geb. 1837) verdienen auf die gleiche Stufe gestellt zu werden. Gleicherweise ist Tycho Brahes, des dritten in diesem Bunde, Andenken durch Dreyer, F. R. Friis

(geb. 1836) und F. J. Studnička (geb. 1836) hochgehalten worden. Von zahllosen Monographien und Spezialabhandlungen abgesehen, unter denen P. Kuglers Rekonstruktion der altbabylonischen Astronomie (1900) hervorragt, hat uns die neuere Periode auch zwei große selbständige Werke über die Gesamtgeschichte der Sternkunde, freilich von recht ungleichem Werte, gebracht: Dasjenige von Maedler (1872—1873), das trotz seiner Systemlosigkeit doch dem sachkundigen Benützer manche Ausbeute gewährt, und dasjenige von R. Wolf (1877), von dem man wohl behaupten darf, daß es den höchstgespannten Forderungen Genüge thue. Der gleiche, unermeßlich eifrige Gelehrte hat uns noch am Ende seines Lebens, gerade ehe die Feder der niemals rastenden Hand entsank, ein als Repertorium unerreichtes „Handbuch der Astronomie, ihrer Geschichte und Litteratur“ (Zürich 1890—1893) hinterlassen, dessen Wert wohl von jedem unumwunden anerkannt wird, zu dessen Pflichten es gehört, über geschichtlich-astronomische Fragen selbständige Studien zu betreiben. Auch eine Amerikanerin, Miß A. M. Clerke, ist auf dem litterarischen Schauplatze mit einer „Geschichte der Astronomie während des 19. Jahrhunderts“ (1887; deutsch von H. Maser, Berlin 1889) erschienen, die frisch und belehrend geschrieben, jedoch weit davon entfernt ist, der ganzen Wissenschaft gleichmäßig gerecht zu werden, indem die physikalischen Kapitel den Löwenanteil für sich vorwegnehmen. Ein ganz unentbehrlich gewordenes litterarisches Hilfsmittel hat die astronomische Forschung durch die von 1882 an in Brüssel herausgegebene „Bibliographie générale de l'astronomie“ der beiden Belgier J. C. Houzeau und A. B. M. Lancaster (geb. 1849) erhalten. Der Unterricht in der Astronomie hat an Breite und Tiefe außerordentlich gewonnen; von 27 Universitäten deutscher — oder wenigstens teilweise deutscher — Vortragssprache sind 16 mit regelrechten astronomischen Professuren ausgestattet. Auch ins Volk ist die Astronomie mehr als manche andere Disziplin eingedrungen. Nicht zu unterschätzende Anregung gewährte das in Berlin organisierte, aber auch auf andere Städte übergreifende Urania-Unternehmen, um das sich W. Meyer namhafte Verdienste erwarb — mag auch vielleicht Einzelnen der Gedanke

kommen, daß man auch in der theatralischen Ausgestaltung des Guten zu viel thun könne.

Der assoziative Zusammenschluß, auf vielen Gebieten vorteilhaft erprobt, hat auch auf dem unsrigen seine heilsamen Wirkungen nicht vermissen lassen. In verschiedenen Ländern, so namentlich in England, wo die Royal Astronomical Society wertvolle Arbeiten inszeniert hat, wurde dieses Prinzip bestätigt gefunden, und auch wir sind nicht unthätig geblieben, sondern es ist 1868 die deutsche Astronomische Gesellschaft begründet worden, die einerseits Werke, die ihrer Kostspieligkeit halber sonst schwer in den Druck zu geben wären, wie namentlich Zahlentafeln, unter ihrer Ägide herausgiebt, andererseits durch ihre „Vierteljahrsschrift", neben den altberühmten „Astronomischen Nachrichten" das geachtetste deutsche Fachorgan, zusammenfassend wirkt. Daneben sollen auch „Sirius", sowie die Zeitschrift von Freunden der kosmischen Physik, als gleichmäßig der Wissenschaft selbst und ihrer Verbreitung dienende Journale, nicht unvergessen bleiben.

Vierzehntes Kapitel.

Die Astrophysik.

In der ersten Hälfte des Jahrhunderts waren die Vorbedingungen zum Ausbau einer selbständigen Astrophysik noch nicht gegeben; wohl erklingt gar nicht selten das Wort physische Astronomie, allein was man darunter verstand, war etwas ganz anderes, nämlich die Zurückführung der himmlischen Bewegungserscheinungen auf das Newtonsche Gesetz der allgemeinen Schwere. Noch war man fast ausschließlich auf das Fernrohr allein angewiesen, doch soll nicht außer acht gelassen werden, daß auch dieses wertvolle Einblicke in die Natur des Sonnenkörpers vermittelt hat. Als Einleitungsperiode soll demnach der Zeitraum hier zunächst zur Besprechung gelangen, in den die Begründung der modernen Sonnenphysik durch S. H. Schwabe (1789—1875) fällt.

Der Dessauer Apotheker, ein Liebhaber der Wissenschaft in dieses Wortes edelster Bedeutung, hat fast genau ein halbes Jahrhundert steter Beobachtung der Sonne gewidmet. Er war ja freilich nicht der erste, der konsequent Beobachtungen des Tagesgestirnes anstellte, aber kein anderer that es in solchem Ausmaße und nach so gründlich durchdachtem Plane. Seine Beobachtungsregister waren, wie uns der mit Schwabe kraft gemeinsamer Interessen in inniger Freundschaft verbundene R. Wolf mitteilt, derart eingerichtet, daß er für jeden Monat und für jedes Jahr aufzuzeigen in der Lage war, wieviele Fleckengruppen in dem fraglichen Zeitabschnitte sichtbar gewesen waren. So entstand eine Sonnenstatistik, aus der, falls überhaupt in dem, was man als

Fleckenfrequenz bezeichnen kann, irgendwelche Gesetzmäßigkeit besteht, dieselbe sicher erschlossen werden konnte. Und wirklich hatte schon 1776 der dänische Astronom Horrebow in seine Tagebücher den lapidaren, nach vielen Jahrzehnten erst in seiner Berechtigung erkannten Satz eingetragen: „Es ist zu hoffen, daß man durch eifriges Beobachten auch hier eine Periode auffinden werde, wie in den Bewegungen der übrigen Himmelskörper.“ Von der gleichen Hoffnung geleitet, und ohne von Horrebows divinatorischem Ausspruche etwas zu wissen, suchte Schwabe die Sonnenoberfläche unermüdet ab, und schon um die Mitte der vierziger Jahre war er so weit gekommen, eine Periode von ungefähr zehn Jahren im Fleckenstande der Sonne für wahrscheinlich erklären zu können. Was er nur mutmaßte, wurde von anderer Seite gleich darauf bestimmter gefaßt und bewiesen, aber die Leistung des Dessauer „Dilettanten“, der uns gezeigt hat, wie wertvoll auch die Arbeit des Nicht-Berufsastronomen in richtiger Beschränkung auf konkrete Aufgaben der Wissenschaft werden kann, wird dadurch nicht in den Schatten gestellt, daß allgemach auch Fachmänner, teilweise beeinflußt durch das gegebene Beispiel, das Studium der Sonnenoberfläche mit erhöhtem Eifer zu betreiben anfingen.

Seit 1847 war insbesondere R. Wolf einer der fleißigsten Arbeiter auf diesem noch wenig bebauten Felde. Er erkannte, daß die von zwei verschiedenen Beobachtern vorgenommenen Fleckenzählungen noch der so wichtigen Vergleichbarkeit ermangelten, und führte infolge dessen die seitdem den Sonnenforschern sehr vertraut gewordenen Relativzahlen ein. Der sehr einfach gebaute mathematische Ausdruck nimmt in sich für jede einzelne Beobachtung die Anzahl der wahrgenommenen Einzelsonnenflecke, die Anzahl der wahrgenommenen Fleckengruppen und einen von der Eigenart des verwendeten Instrumentes abhängenden Erfahrungsfaktor auf. Diese Relativzahlen konnten nun die in Frage stehende Periodizität sicher stellen; giebt es eine solche, so muß sie sich dadurch offenbaren, daß die Relativzahlen nach Umfluß eines gewissen Zeitraumes immer in der gleichen Folge wiederkehren. Merkwürdigerweise kam der unmittelbare Anstoß zur Aufdeckung dieser Regelmäßigkeit jedoch nicht von der Sonne selbst,

sondern von einer terrestrischen Erscheinung, die zu jener zunächst auch nicht in dem entferntesten Abhängigkeitsverhältnisse zu stehen schien. Vom Jahre 1845 an hatte Lamont in Bogenhausen den Tagesgang der magnetischen Deklinationsnadel aufmerksam verfolgt und gefunden, daß die mittlere tägliche Bewegung der Nadel keine konstante ist, sondern im Laufe der Jahre Verstärkungen und Verringerungen ausgesetzt erscheint. Eine ebenfalls beiläufig zehnjährige Periode hielt er für das beste Mittel, die Veränderungen zutreffend darzustellen, und ganz auf denselben Zeitraum verfiel fast gleichzeitig Sabine, indem er die Eintrittszeiten der magnetischen Störungen auf ihre chronologische Anordnung prüfte. Da nun Wolf zu Beginn der fünfziger Jahre, als die Resultate des deutschen und des britischen Forschers bekannt wurden, mit sich bereits über die Periodizität der Fleckenwiederkehr im Reinen war, so gab er der glücklichen Inspiration Raum, die Zahlenreihen von Lamont und Sabine mit seinen eigenen zu vergleichen. Auch ein anderer Schweizer, A. J. Gautier (1793—1881), war um die gleiche Zeit zu völlig der gleichen Entdeckung gelangt; die vorläufigen Mitteilungen, welche von beiden jeweils den Naturforschenden Gesellschaften von Bern und Genf gemacht wurden, erfolgten 1852 mit einem Zeitunterschiede von nur wenigen Tagen und in voller gegenseitiger Unabhängigkeit. Wolf griff jedoch mit der ganzen Thatkraft seines Temperamentes die Sache nun gleich in der größten Allgemeinheit an, indem er bei allen älteren Sonnenbeobachtern, von der als Quellenwerk noch jetzt sehr zu achtenden „Rosa Ursina“ Ch. Scheiners aus dem Jahre 1630 angefangen, das einschlägige Material zusammensuchte und kritisch auf seine Verwendbarkeit für das ihm vorschwebende Ziel analysierte. Die Periode der Sonnenfleckenhäufigkeit muß nach Wolf auf 11,111 Jahre angesetzt werden. Seit dem Schlusse des Jahres 1852, in welchem dieser wichtige Fund der Öffentlichkeit zuerst vorgelegt ward, hat der schweizerische Astronom, der einige Zeit später von Bern nach Zürich berufen und hier durch den Bau einer neuen Sternwarte zur Betreibung seiner Forschungen im größeren Stile ermächtigt wurde, kein Jahr vorübergehen lassen, ohne neue Daten

zur Bekräftigung und Ausgestaltung seiner Entdeckung herbeizuschaffen, wie dies seine in langer Reihe erschienenen „Astronom. Mitteilungen" beweisen, die zwar nicht ausschließend, aber doch zum guten Teile die Sonnenphysik zu vervollkommnen bestimmt sind. Seine Hilfsarbeiter R. Billwiller (geb. 1849) und A. Wolfer standen ihm bei dieser Arbeit treulich zur Seite. Es hat sich nachher ergeben, daß auch noch andere terrestrische Vorgänge in ursächlicher Beziehung zu der wechselnden Bedeckung der Sonnenoberfläche mit Flecken stehen, und es wird darauf in einem folgenden Abschnitte besonders einzugehen sein. J. Schmidt, H. Weber in Peckeloh (1808—1885; gleichfalls ein autodidaktisch gebildeter Liebhaber der Wissenschaft), H. Fritz (1830—1893), H. J. Klein u. a. haben durch ihre Beobachtungen dankenswert zur Befestigung der Wolfschen Theorie mitgewirkt, und dieselbe kann jetzt als insofern sicher gestellt gelten, als sich gegen das Vorhandensein einer Periode von $11^1/_9$ Jahren kaum noch ernstliche Bedenken erheben. Ob dieselbe allerdings die einzige ist, kann heute noch niemand sagen, und es liegen sogar Wahrscheinlichkeitsgründe dafür vor, daß mehrere Perioden von sehr verschiedener Länge — darunter möglicherweise eine 55jährige — sich überlagern und teilweise verstärken, teilweise beeinträchtigen. Zu abschließenden Bestimmungen wird es so bald nicht kommen können, denn dazu gehört ein über lange Fristen ausgedehntes Beobachtungsmaterial, und noch sind seit der ersten Entdeckung der Sonnenflecke durch Fabricius, Ch. Scheiner und Galilei keine vollen dreihundert Jahre verflossen.

Als zu Beginn der neuen Jahrhunderthälfte ein so tiefer und eigenartiger Einblick in das physische Leben des Zentralkörpers unseres engeren Weltsystemes eröffnet war, wußte man noch nichts von der Spektralanalyse, und so mußte man eben versuchen, mit den gegebenen Mitteln so weit wie möglich zu kommen. Der vorige Abschnitt gedachte der neueren Ermittlungen der Rotationsdauer der Sonne und der diese mannigfach trübenden Eigenbewegungen der Oberflächenschichten; daß solche nicht unmöglich seien, hatte bereits Scheiner geahnt, und noch vor dem Anbruche des neuen Jahrhunderts warf Olbers (1798) in einem

an v. Zach gerichteten Briefe die Frage auf, „ob die Flecke bloß der Rotation der Sonne folgen oder noch eine eigene Bewegung, eine Veränderung auf der Sonne selbst haben“. Später haben Boehm und E. Laugier (1812—1872) denselben Gedanken angedeutet, und C. H. Peters sprach ihn sogar (1855) bestimmter aus, aber diesen Gelegenheitsaussprüchen fehlte jeder Nachhall, und erst Carringtons Werk von 1863 stellte als über jeden Zweifel erhaben fest: Die Sonnenflecke behalten nicht durchaus dieselbe heliographische Breite, nähern sich vielmehr gelegentlich dem Sonnenäquator und entfernen sich wieder von ihm. Von Carrington selbst und ebenso von Spoerer, H. A. E. Faye (geb. 1811) und J. Plaßmann in Münster sind zur Darstellung dieser spontanen Bewegungen, die wir wohl mit den atmosphärischen Bewegungen unserer Erde zu parallelisieren ein Recht haben, empirische Formeln aufgestellt worden, d. h. mathematische Ausdrücke, die nicht aus einer Verkettung theoretischer Schlüsse entsprungen, sondern lediglich den angesammelten Erfahrungsdaten mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung angepaßt sind und nur so lange als giltig betrachtet zu werden verlangen, als nicht etwa neue Beobachtungen eine durchaus veränderte Sachlage schaffen. Weit weniger variabel sind, wie Wilsing fand, die Sonnenfackeln, die Örtlichkeiten vermehrter Helligkeit auf der Sonnenoberfläche, auf deren Verwendung zur Bestimmung des „Tages“ der Sonne sonach erhöhtes Gewicht zu legen wäre. Der genannte Astronom fand so diesen „Tag“ gleich 25,228 Erdentagen. Übrigens ist die Eigenbewegung nach N. C. Dunér (geb. 1839) nicht auf die Flecke beschränkt, sondern betrifft auch leuchtende Partieen der Sonnenoberfläche, am wenigsten eben die Fackeln, und nicht alle Zonen weisen einen gleichen Grad von Unruhe auf. Aus Spoerers zahlreichen Veröffentlichungen kann man abnehmen, welche Sonnengürtel im allgemeinen durch eine ausgesprochene Bewegungstendenz, und welche durch relativ andauernden Ruhezustand — man denke nur an die Kalmenregion der Erde — charakterisiert sind. Es bedarf kaum einer Hervorhebung des Umstandes, daß, ganz abgesehen von den Flecken, die erwähnten Strömungen auch Temperaturstand

und Wärmestrahlung der Sonne beeinflussen müssen; wir ziehen es jedoch vor, die Gesamtheit dieser Probleme, obwohl sie ja unter dem systematischen Gesichtspunkte zu allererst in die Astrophysik gehören, erst in der Geschichte der Klimatologie, die doch mit etwaigem Wechsel in der Ergiebigkeit der obersten Wärmequelle am meisten zu thun hat, der Besprechung zu unterstellen.

Als eine von schwachen Anfängen zu ziemlich hoher Vollendung gebrachte astrophysikalische Technik ist zuerst die Lichtmessung zu nennen, die lange Zeit nur mühsam aus den Originalabhandlungen studiert werden konnte, seit kurzem aber in den Besitz eines lehrreichen, zusammenfassenden Werkes von G. Müller gelangt ist („Die Photometrie der Gestirne", Leipzig 1897). Vor der Ausbildung sicherer Methoden war man natürlich auf bloße Schätzung angewiesen, und was durch diese erreicht werden konnte, mag man aus dem einläßlich dabei verweilenden dritten („uranologischen") Bande des Humboldtschen „Kosmos" ersehen. Daß einzelne Forscher, wie J. Herschel, Argelander und E. Schoenfeld, die sich mit Vorliebe der Beaufsichtigung des Lichtwechsels der veränderlichen Sterne widmeten, hierin Vorzügliches leisteten, wird niemand bestreiten wollen; gleichwohl war es auch für diesen Zweig der Stellarastronomie gut, daß exakte Messung das frühere, einigermaßen subjektive Verfahren ersetzte. Sterne der bezeichneten Art sind schon seit dem Ende des 16. Jahrhunderts Gegenstand der Beobachtung gewesen — ganz abgesehen von jenen merkwürdigen neuen Sternen, deren Auftreten Tycho Brahe und Kepler zu belangreichen Arbeiten veranlaßte, und die vom Glanze eines Sternes erster Größe sehr rasch zu dem eines solchen sechster und siebenter Größe herabsanken, ja wohl auch gänzlich verschwanden. Bei den im engeren Sinne veränderlichen Sternen, deren Helligkeitsveränderung eine gewisse Regel erkennen läßt, ist doch diese letztere in den Einzelfällen wieder so verschieden wie möglich. So haben Argelander und Schoenfeld (1870) die Maxima und Minima der beiden Hauptvertreter besonderer Typen, der Mira Ceti und des Algol (β Persei), durch Formeln ausgedrückt, welche nichts miteinander gemein haben als den Umstand, daß beide periodischer Natur sind. Wieder anders verhält sich β Lyrae, von

welchem Sterne Argelander 1858 nachzuweisen in der Lage war, daß seine Lichtperiode in langsamem Anwachsen begriffen ist. Der Algoltypus scheint unter den veränderlichen Sternen der am meisten verbreitete zu sein, wie ihm denn auch die 1848 von J. Baxendell (1815—1887) und 1859 von J. Schmidt entdeckten Objekte angehören. Mit dem Lichtwechsel geht mitunter ein Farbenwechsel Hand in Hand, den z. B. H. J. Klein (1876) bei α Ursae majoris sehr ausgeprägt fand. Den theoretischen Ansichten, die man sich über das Wesen der neuen und veränderlichen Sterne bilden mußte, wollen wir für jetzt noch nicht näher treten, da den Schluß dieses Abschnittes ein Exkurs auf die kosmogonischen Fragen bilden soll, mit denen man die erwähnten Erscheinungen mehrfach in engeren Zusammenhang bringen wollte.

Wenn man von Astrophotometrie spricht, so muß man zwei ganz verschiedene Dinge auseinander halten. Einmal bedarf es geeigneter Apparate, um zwei Licht aussendende Körper auf das Verhältnis der Intensitäten des von ihnen ausgesandten Lichtes prüfen zu können, und es bedarf weiter der Einsicht in die Gesetzmäßigkeit, nach welcher eine gegebene Fläche durch ein unter gegebenen Verhältnissen einfallendes Lichtstrahlenbündel erleuchtet wird. Lange Zeit war man von der strengen Giltigkeit des Lambertschen Gesetzes überzeugt, welches dieser berühmte Mathematiker in seinem groß angelegten Werke „Photometria“ (Augsburg 1760) aufgestellt und mit anscheinendem Erfolge auf die verschiedenartigsten Aufgaben angewendet hatte. Daß das Werk auch heute noch der Berücksichtigung des Physikers vollauf würdig ist, beweist auch dessen durch Seeliger-Anding in München bewirkte Verdeutschung für Ostwalds „Klassiker“. Auch ist das Lambertsche Gesetz nicht etwa an sich unrichtig, denn es besagt, daß in den analytischen Ausdruck der Helligkeit, welche auf einem gegebenen Flächenelemente unter der Beleuchtung eines zweiten Flächenelementes entsteht, die Größen beider Flächen, die von ihnen mit der Verbindungslinie gebildeten Winkel und das Quadrat dieser Verbindungslinie eingehen, woran nicht zu zweifeln ist. So liegt denn dieser Ausdruck zu Grunde dem einzigen älteren

Lehrbuche des photometrischen Kalküls, welches A. Beer (1825—1863) im Jahre 1854 verfaßte, und nicht minder den Untersuchungen von L. Burmester (geb. 1840) über Isophoten (Linien gleicher Helligkeit), die für die höhere Zeichnungskunst sehr wichtig geworden sind. Für die in der Astronomie vorkommenden Verhältnisse stellt sich aber freilich das Gesetz von Lambert nur als eine ganz unzureichende Näherung dar, und an seiner Statt operiert die wissenschaftliche Photometrie jetzt nur noch mit einem weitaus besser der Natur angepaßten Gesetze, demjenigen, welches von Seeliger und E. C. J. Lommel (1837—1899) herrührt. Wir haben die Brauchbarkeit desselben bereits oben bestätigt gefunden, als wir der auf optischem Wege erfolgten Bestätigung der neueren Ansichten über die Konstitution des Saturnringes Erwähnung thaten.

Photometer, Instrumente zur Lichtvergleichung, hatten, wie wir sahen, Lambert, Ritchie, Bunsen angegeben, aber der Kreis ihrer Verwendbarkeit war ein rein tellurischer. Für astronomische Zwecke schlug zuerst J. Herschel vor, mittelst Linsen das Bild eines künstlichen Sternes zu erzeugen und dieses mit dem wirklichen zu vergleichen. Umfassender arbeitete in den vierziger Jahren der geniale Schwerd in Speier, der uns durch seine Reform der Gradmessungsarbeiten bekannt ist. Er schob in das parallaktisch montierte Fernrohr, durch welches er den zu prüfenden Stern betrachtete, Diaphragmen ein, welche eine sich steigernde Abblendung des Lichtes und damit eine stetige Annäherung von dessen Stärke an diejenige eines ein für allemal hergestellten künstlichen Vergleichssternes ermöglichten. In ganz anderer Weise wußte der ältere Steinheil eben diesen Grundsatz für die Photometrie fruchtbar zu machen. Er teilte, gerade wie beim Heliometer, das Objektiv des Beobachtungsfernrohres in zwei Hälften, deren jede für sich beweglich war, und brachte an jeder einen drehbaren Spiegel an. So wurden sowohl vom Sterne als auch vom Vergleichsobjekte zwei nebeneinander liegende Bilder erzeugt, die man durch eine — meßbare — Verschiebung des Okulars gleich hell zu machen im stande war, und eben aus dem Maße der Okularverrückung ließ sich sodann schließen, wieviel mal der Stern licht-

schwächer oder lichtstärker als die gewählte Einheit war. Mit diesem Sternphotometer hat L. Seidel (1821—1896) ausgedehnte Messungen ausgeführt, die sich von 1852 bis 1870 erstreckten, leider aber die Folge hatten, daß der Beobachter, der bald einer der hervorragendsten mathematischen Hochschullehrer ward, schwer an den Augen zu leiden begann und frühzeitiger Erblindung anheimfiel. Auch zwei kongruente rechtwinklige Prismen aus verschiedenem Glase, die, mit der Hypotenusenfläche aneinander gelegt, ein rechtwinkliges Parallelepipedum ergeben, hat man in Anwendung gebracht, indem man durch Verschieben des einen Prismas die Bilder zweier gleichzeitig anvisierten Lichtpunkte zum Verschwinden brachte und nun durch eine einfache Formel das Verhältnis ihrer Intensitäten berechnete. Mit einem solchen Keilphotometer, dessen Idee nach Wolf auf C. Piazzi Smyth (geb. 1819) zurückgeht, haben 1862 E. Kayser (geb. 1830), 1883 Ch. Pickhard (1808—1893) und 1887 E. v. Gothard gute Erfolge erzielt. Die meiste Beliebtheit errang sich jedoch, und gewiß nicht ohne Grund, das von Zöllner in einer auch sonst bahnbrechenden Schrift („Grundzüge einer allgemeinen Photometrie des Himmels", Berlin 1861) beschriebene Polarisationsphotometer. An das Fernrohr ist rechtwinklig eine Seitenröhre angesetzt, vor deren Öffnung die Normallichtflamme brennt, deren Bild durch ein total reflektierendes Prisma unmittelbar neben den Stern gebracht wird. In dem Rohre haben aber auch zwei Nicolsche Prismen Platz gefunden, deren eines durch einen Handgriff gedreht werden kann, und so kann man ferner dem künstlichen Sterne jede beliebige Helligkeit verleihen, vor allem auch diejenige, welche dem Originale eignet. Das Maß derselben ist dem Quadrate des Sinus des an einer Teilung abzulesenden Drehungswinkels proportional. Um aber eine noch größere Übereinstimmung herbeizuführen, ist in das Ansatzrohr noch ein dritter Nicol eingeschaltet, durch dessen Drehung Gleichheit der Färbung zu erzielen ist. Auch Pickerings Photometer von 1882 beruht auf der gekennzeichneten Eigenschaft der Lichtpolarisation. Geistvoll erdacht sind auch mehrere Spektrophotometer, von denen dasjenige, welches H. C. Vogel und P. Glan (geb. 1846) konstruierten, die größte praktische Brauch-

barkeit bewährte. Aus der kritischen Abwägung der von den einzelnen Vorrichtungen dargebotenen Vor- und Nachteile, wie sie G. Müller in dem erwähnten Handbuche vornimmt, scheint zu erhellen, daß zur Zeit die Polarisationsphotometer die größte Gewähr für zuverlässige Ergebnisse in sich schließen, da sie namentlich auch nicht einen so sehr hohen Grad der Übung wie andere voraussetzen. Die Mehrzahl neuerer photometrischer Messungen ist denn auch in diesem Sinne ausgeführt worden, während allerdings in einzelnen Fällen auch die Photographie zum gleichen Zwecke herangezogen wurde. Dies hat insonderheit C. V. L. Charlier in Leipzig im Jahre 1889 gethan, und G. Müller huldigt der Überzeugung, daß diesem Verfahren noch eine schöne Zukunft vorbehalten ist. Über die ältere Geschichte der Sternlichtmessung, in der auch der vielseitige Arago nicht vergessen werden darf, hat sich C. H. Lindemann (geb. 1842) in einer 1868 zu Breslau herausgegebenen Schrift verbreitet.

Eine umfassende photometrische Durchmusterung des Firmamentes wurde in den Jahren 1882 bis 1888 mit dem der Harvard-Sternwarte angehörigen Meridianphotometer ins Werk gesetzt, und Pickering, der diese Riesenarbeit unternahm, führte dabei alle Sternhelligkeiten auf das Normalmaß von λ Ursae minoris zurück, während man früher gerne Kapella zur Einheit erkoren hatte. Es wurden in 267 000 Einzelmessungen nahe 21000 Bestimmungen gemacht. Einer wesentlich analogen Aufgabe unterzogen sich auf dem gleich nachher näher zu schildernden Potsdamer Observatorium G. Müller und Kempf, welche dazu vom 1. Oktober 1886 bis zum 1. April 1893 brauchten, in dieser trotzdem aber verhältnismäßig gar nicht langen Zeit 14000 Sterne des Nordhimmels am Zoellnerschen Photometer prüften. Man ging dabei, um die Arbeit nicht zu einer uferlosen werden zu lassen, nicht unter die Sterngröße 7,5 herab und hielt sich nicht an einen einzelnen Fundamentalstern, sondern wählte eine ganze Anzahl solcher möglichst gleichmäßig über den Himmel verteilter Sterne. Es war beabsichtigt, für die etwas vage Einteilung der Fixsterne in Größenklassen zuverlässigere photometrische Kriterien auszumitteln, wobei es zugleich notwendig erschien, alle Sterne auf die

Höhe 90°, d. h. also auf eine angenommene Zenitalstellung, zu beziehen; denn nur in diesem Falle kommt das uns zugesandte Licht zur vollen Geltung, weil hier die Absorption in der Luft, die sogenannte Extinktion, ihren relativ kleinsten Wert annimmt. Jetzt erst, nachdem Festsetzungen, wie diejenigen von Cambridge und Potsdam, vorliegen, ist die Möglichkeit zu genauen und unter sich vergleichbaren Studien über veränderliche Sterne gegeben. Eine präzise Bestimmung der Helligkeitsverhältnisse muß aber weiterhin auch, wie Seeliger dargethan hat, als erste Voraussetzung für wirklich verläßige Sternaichungen angesehen werden, wie solche unserem fünften Abschnitte zufolge von den beiden Herschel u. a. vorgenommen worden sind. Auf Grund der vorhandenen photometrischen Durchmusterungen läßt sich jetzt schon mit ziemlicher Sicherheit aussagen, daß die nahe liegende ältere Annahme, wonach in jeder Richtung, falls nicht angebliche Lichtauslöschung im Weltenraume stattfände, ein Stern zu sehen wäre, nicht zutrifft, sondern daß die Gesamtheit der erkennbaren Fixsterne — von den Nebelflecken muß dies dahingestellt bleiben — als ein in sich abgeschlossenes System aufzufassen ist, dessen Grenzen 500 bis 1100 Siriusweiten von unserem eigenen, ein winziges Inselchen in diesem Sternenmeere repräsentierenden Sonnensysteme entfernt sein dürften.

Zu den Machtmitteln, über welche die Astrophysik seit einer Reihe von Jahrzehnten verfügte, gehört an zweiter Stelle die Astrophotographie. Die chemisch präparierte Platte ist noch sehr empfindlich gegen Strahlen, welche auf der menschlichen Netzhaut gar keine Wirkung mehr hervorbringen, und die Eindrücke, die sie einmal empfangen hat, verbleiben ihr dauernd und lassen sich fixieren. Es mußte mithin, nachdem Daguerre und Talbot, wie wir im achten Abschnitte erfuhren, die Kunst, Lichtbilder anzufertigen, bereits bis zu einer gewissen Vollkommenheit gebracht hatten, der Wunsch entstehen, auch von astronomischen Objekten solche Abbildungen zu erzielen, aber derselbe wollte sich anfänglich nicht recht verwirklichen lassen. Arago brachte in den vierziger Jahren ein Bild der Mondsichel auf Chlorsilber zuwege, allein dieser Fall stand fürs erste vereinzelt da. Gelungenere Versuche

wurden von Vater und Sohn Bond (W. C. Bond, 1789—1859; G. Ph. Bond, 1825—1865) im amerikanischen Cambridge 1850 ausgeführt, indem in den Brennpunkt des Refraktors eine empfindliche Daguerreotypplatte gebracht ward; das Jahr 1857 kennzeichnet einen erheblichen Fortschritt insofern, als erstmalig ein zu Ortsbestimmungen taugliches Bild eines Doppelsternes auf der Platte erschien. Auch sonst waren die Astronomen der Vereinigten Staaten die eigentlichen Pioniere der neuen Methodik; nächst den beiden Bond haben Gould und L. M. Rutherford (1816 bis 1892), sowie Pickering besonders hierzu beigetragen. Seitdem war der Fortschritt ein sehr rascher, und N. v. Konkoly (geb. 1842) hat der jungen Wissenschaft auch bereits eine systematische Darstellung („Praktische Anleitung zur Himmelsphotographie“, Halle a. S. 1887), G. P. Rayet (geb. 1839) hat ihr eine geschichtliche Skizze gewidmet. Es kommt bei der Astrophotographie ersichtlich auf zwei ganz verschiedene Zwecke an, je nachdem man nämlich einerseits das Sonnensystem, andererseits die Fixsterne ins Auge faßt. Die Glieder des ersteren, die uns durchaus so nahe sind, daß sie bei gehöriger teleskopischer Kraftentfaltung, abgesehen natürlich von den meisten Planetoiden, als meßbare Scheibchen erscheinen, werden ebenso im photographischen Bilde wiedergegeben, so daß man an ihnen genaue Studien, allenfalls unter Zuhilfenahme mikroskopischer Messungsmethoden, anzustellen befähigt wird; dem Fixsternhimmel gegenüber erreicht man hinsichtlich der Sternhaufen und Nebelflecke die gleiche Absicht, bekommt aber noch weiter von einer Fülle cölestischer Objekte Kunde, die sich dem Fernrohre allein niemals erschlossen hätten. Sogar zu Planetenentdeckungen hat die photographische Himmelsbeobachtung Anlaß gegeben. M. Wolf, der in der ihm unterstellten Abteilung der Heidelberger Sternwarte die erforderlichen Einrichtungen möglichst umfassend getroffen hat, fand, daß das photographische Bild eines Asteroiden, mag er im Fernglase auch völlig wie ein Fixstern aussehen, sich von demjenigen der Fixsterne doch unverkennbar unterscheidet; letztere geben bloß einen Punkt, erstere einen kurzen Strich. Dieses Kennzeichen verhalf Wolf im November 1900 zu ein paar neuen Entdeckungen.

In den Jahren 1865 bis 1868 ließ W. De la Rue (1815 bis 1889) in Verbindung mit B. Stewart (1828—1887) und B. Loewy (geb. 1833) seine wegzeigenden Untersuchungen über Sonnenphysik erscheinen, welche hauptsächlich aus photographischen Aufnahmen erwachsen waren. Der Erstgenannte, ein reicher Engländer, der seine ganze Kraft auf diesen neuen Forschungszweig konzentrierte, hat für denselben, und zwar vorwiegend für seine solare Seite, besonders Hervorragendes geleistet. Er konstruierte ein neues Instrument, Photoheliograph genannt; das Fernrohr ist natürlich parallaktisch montiert, und statt daß, was mit einigen Übelständen verbunden ist, die Platte in den Brennpunkt des Objektives geschoben würde, wird im Fernrohre selbst eine Vergrößerungslinse angebracht, die auf der Platte ein vergrößertes Bild entwirft. So wurde die früher zu lange Expositionsdauer, in deren Verlaufe sich die durch die stete Unruhe der Luft bedingten Störungen viel stärker geltend machen konnten, auf ein Minimum herabgedrückt, denn der Verschluß, der sich automatisch regulieren ließ, erfolgte, nachdem das Licht nur etwa den fünfzigsten Teil einer Zeitsekunde eingewirkt hatte. Je heller der Licht aussendende Körper ist, um so kürzer muß die Belichtungszeit sein, wenn nicht die atmosphärischen Bewegungen das Bild verzerrend beeinflussen sollen. Auch den Mond nahm De la Rue in Angriff, und mit geschickter Verwendung der Libration, durch welche ein kleiner Teil der abgewendeten Mondhalbkugel unserem Sehorgane zugänglich wird, stellte er ausgezeichnete photographische Mondstereoskopen her. Zu exakter mikrometrischer Ausmessung kleinster Mondgebilde sind L. Weineks Photogramme vortrefflich geeignet. Nicht minder gelangen schon um 1860 Abbildungen der Planeten und einzelner heller Fixsterne. Eine Verbesserung des Aufnahmeverfahrens leitete Rutherfurd dadurch ein, daß er eine Abtrennung der chemisch wirksamsten von den übrigen Strahlen des Spektrums zuwege brachte, und nachdem es ihm geglückt war, jene Kombination einer Flint- und Crownglaslinse ausfindig zu machen, welche die wirksamen, aktinischen Strahlen vereinigte, zerlegte er sofort eine Reihe von Sternen, die ohne dieses Mittel nicht als Doppelsterne

zu erkennen waren. Durch Nasmyth, W. R. Dawes (1799 bis 1868) und vor allem durch den großen französischen Astrophysiker P. J. C. Janssen (geb. 1824), der während der Belagerung von 1870 Paris im Luftballon verließ, um an der Beobachtung einer dort nicht totalen Sonnenfinsternis unter günstigen Verhältnissen teilnehmen zu können, wurde jene tiefgehende Kenntnis der feineren Struktur der Lichthülle der Sonne gewonnen, von welcher noch mehr zu sprechen sein wird. Noch nach einer anderen Richtung wurde die Photographie für die Astrophysik wertvoll; W. Huggins (geb. 1824) und H. Draper (1837—1882) photographierten nämlich die Spektren der verschiedensten Lichtquellen, nachdem A. E. Becquerel (geb. 1820) mit der photographischen Fixierung des Sonnenspektrums einen guten Anfang gemacht hatte. Mit dem Lockyerschen Apparate kann in der Photographie das Zusammenfallen eines Streifens mit einer der Fraunhoferschen Linien äußerst exakt eingemessen werden.

Photometrie und Photographie vereinigen sich nun aber mit einem noch erfolgreicheren Vehikel der physikalischen Gestirnforschung, mit der Spektroskopie. Auf letztere brauchen wir uns im einzelnen nicht mehr einzulassen, da ja ihre Entstehungsgeschichte bereits einen eigenen Abschnitt angewiesen erhalten hat. Es ist vielmehr unsere Absicht nunmehr die, bei der Betrachtung der einzelnen Weltkörper die zusammengreifende Thätigkeit und Leistung der drei Untersuchungsmethoden im Zusammenhange vorzuführen und zu zeigen, was dadurch in jedem einzelnen Falle erreicht wurde für die genauere Ergründung der Beschaffenheit der Gestirne. Hinweisen wollen wir dabei nur noch auf einige besonders verdienstliche litterarische Hilfsmittel: Roscoe-Schorlemmer, Die „Spektralanalyse in einer Reihe von sechs Vorlesungen“, Braunschweig 1870; Lockyer, „Contribution to Solar Physics“, London 1874 und „Inorganic Evolution as studied by Spectrum Analysis“, ebenda 1900 (höchst geistvoll, aber nicht ohne phantastischen Beigeschmack); H. Kaiser, „Lehrbuch der Spektralanalyse“, Berlin 1883; J. Scheiner, „Die Spektralanalyse der Gestirne“, Leipzig 1890. Dieses letztere Werk wird wohl für längere Zeit die Rolle eines Führers auf unserem Arbeitsfelde zu spielen berufen sein. Bisher

standen für uns die Erkenntnismittel im Vordergrunde; jetzt treten sie gegen die Resultate zurück. Doch darf wohl hier, als am passendsten Orte, darauf hingewiesen werden, daß die Astrophysik fast noch gebieterischer als die Astronomie im engeren Sinne dem sich ihr Widmenden die Arbeitsteilung und Arbeitsregulierung zur Pflicht macht, so daß also der Privatmann nur wenig thun kann. Eigene Observatorien sind für die zielbewußte Einrichtung des astrophysikalischen Beobachtungsdienstes eine Notwendigkeit geworden. Großbritannien besitzt ein solches von hohem Rufe in Kew bei London, und in Frankreich ist gleicherweise Meudon, ein Vorort von Paris, durch die unermüdliche Wirksamkeit Janssens zu einem der Emporien dieser neuartigen Disziplin aufgestiegen. In Italien hat sich das Osservatorio Romano unter der Leitung Secchis fast ausschließlich in deren Dienst begeben, und nebstdem sind auch von der Warte in Moncalieri, der Pater F. Denza (geb. 1834) vorsteht, viele schätzbare Beobachtungen ausgegangen. Auf deutschem Boden erhob sich die erste rein astrophysikalische Anstalt, die Schöpfung eines weitschauenden Gönners der Wissenschaft, auf dem in Schleswig-Holstein gelegenen Gute Bothkamp eines Kammerherrn v. Bülow, der auch in der Wahl der von ihm bestellten Observatoren, H. C. Vogel und Lohse, eine sehr glückliche Hand bekundete. Beide gingen später über an das großartige Institut, welches Preußen um die Mitte der siebziger Jahre auf dem Telegraphenberge bei Potsdam ins Leben rief. Von dem Architekten Spieker planvoll erbaut, wurde dasselbe, für welches im Volksmunde der Ausdruck „Sonnenwarte" üblich ist, im Jahre 1879 bezogen und einerseits der Astro-, andererseits der Geophysik (Meteorologie und Erdmagnetismus) überwiesen, indem auch zugleich das unter Helmerts Leitung gestellte Geodätische Institut damit in Verbindung trat. Was seitdem an dieser denkwürdigen, musterhaft mit allem notwendigen Rüstzeuge der Wissenschaft ausgestatteten Stätte für die physische Astronomie geschehen ist, zeigen deren Annalen und die Namen der seit zwanzig Jahren hier wirkenden Forscher, eines Vogel, Lohse, G. Müller, Wilsing, J. Scheiner (geb. 1858) u. s. w.

Wir beginnen wiederum mit der Sonne. Was zunächst die Zergliederung des Sonnenspektrums angeht, so wissen wir, daß dieselbe unter den Händen von Kirchhoff und Bunsen bereits ziemlich weit gediehen war, aber immerhin blieb auch ihren Nachfolgern noch ein stattliches Stück Arbeit vorbehalten, und auch das 20. Jahrhundert wird noch mancherlei zu thun vorfinden. Fürs erste machte sich A. J. Ångström (1814—1874), der ja schon frühzeitig Untersuchungen über das Spektrum der Sonne angestellt hatte, an eine möglichst genaue Bestimmung der einzelnen Linien. In der Abhandlung, welche er 1868 der Stockholmer Akademie einreichte, konnte er sich mit Fug rühmen, von 1000 Linien die Wellenlänge scharf ermittelt zu haben; ihm ist der Nachweis zu danken, daß von allen Grundstoffen das Eisen am kräftigsten, d. h. durch eine besonders große Anzahl charakteristischer Linien, in der Sonne vertreten ist. Dem schwedischen Forscher folgte von 1873 an Lockyer, der jedoch stets einer Entdeckung nachjagte, die sich jedenfalls nicht in dem von ihm selbst gehofften Maße bestätigen wollte. Er glaubte an eine himmlische Dissoziation; mit anderen Worten, es sollten auf der Sonne, und wohl auch auf anderen Fixsternen, so abnorm hohe Temperaturen herrschen, daß die sogenannten Elemente, denen die Eigenschaft der Unzerlegbarkeit lediglich in den sehr engen Verhältnissen unseres Planeten zukäme, in noch einfachere Grundstoffe zerfallen müßten. Diese Annahme sollte ganz entschieden für die Metalloide gelten, die denn auch bis 1877 noch nicht in der Sonne nachgewiesen worden waren. Lockyers Anschauung hat viel Widerspruch erfahren; so unbedenklich auch jedermann zugeben wird, daß auf der Sonne Umstände obwalten, die ein irdisches Laboratorium niemals auch nur annähernd nachzubilden vermögend sein wird, so hatte doch andererseits der Ausgangspunkt seiner Theorie von dem Augenblick an die ihm beigelegte Bedeutung eingebüßt, da Draper den Sauerstoff als integrierenden Bestandteil der Sonnenhülle erkennen wollte. Gewiß, diese Entdeckung war anfänglich nichts weniger denn überzeugend, und es war eine nicht gleichgiltig zu nehmende Gegnerschaft zu überwinden, aber gerade in der allerneuesten Zeit haben sich Anhaltspunkte dafür

gefunden, daß Draper doch auf dem richtigen Wege war. Das Sauerstoffspektrum ist eben kein einheitliches, sondern es giebt nach A. Schuster (geb. 1851) eine ganze Anzahl verschiedener Sauerstoffspektren, deren Eigenart durch die Temperatur oder die besondere Natur der elektrischen Erregung bedingt ist. Die gründlichste Arbeit im Gebiete der Sonnenchemie lieferte 1891 der Amerikaner H. Rowland (geb. 1848), der bei H. v. Helmholtz in die Schule gegangen und von ihm mit den feinsten Methoden physikalischer Forschung vertraut gemacht worden war. Ihm zufolge sind, wenn wir die Anzahl der koinzidierenden Linien als Maß der quantitativen Beteiligung des treffenden Stoffes an der Konstitution der Sonne gelten lassen, auf dieser die nachstehend aufgezählten Elemente vertreten: Eisen, Nickel, Titan, Mangan, Chrom, Kobalt, Kohlenstoff, Vanadium, Zirkonium, Cerium, Calcium, Scandium, Neodymium, Lanthan, Yttrium, Niobium, Molybdän, Palladium, Magnesium, Natrium, Silicium, Strontium, Baryum, Aluminium, Kadmium, Rhodium, Erbium, Zink, Kupfer, Silber, Beryllium, Germanium, Zinn, Blei, Kalium. Das letztere Metall ist sonach nur in schwächsten Spuren angedeutet, und der Sauerstoff ist einstweilen gänzlich unterdrückt, weil eben Rowland von seiner Anwesenheit keine durchschlagenden Beweise erhalten hatte; doch wollte er kein abschließend negatives Urteil fällen, sondern ließ die Frage einstweilen in der Schwebe. Dunér hat dann 1894 zwar das Auftreten der Banden A, B und α, welche den Sauerstoff kennzeichnen, anerkannt, die Bildung derselben aber nicht in die Sonne, sondern in die sauerstoffreiche Erdatmosphäre verlegen zu müssen geglaubt. Keinenfalls sind aber hierüber die Akten schon geschlossen, obwohl auch Janssen, der sich ein eigenes Observatorium auf dem höchsten Gipfel Europas, dem des Montblanc, angelegt hat, der Annahme Dunérs insofern beipflichtete, als mit größerer Erhebung über der Erdoberfläche, wenn also die Erdatmosphäre minder dicht wird, eine Abschwächung der Sauerstoffbanden im Sonnenspektrum eintreten soll. Auch in Potsdam hat man Dunér und Janssen Recht gegeben. Allein gerade dieser letztere sprach es in allerjüngster Zeit als seine Meinung aus, daß Sauerstoff der Sonne, die doch als Sammel=

platz aller durch ihr System verstreuten Substanzen gelten müsse, nicht gänzlich zu fehlen brauche. In der That ist die Möglichkeit nicht auszuschließen, daß das Spektroskop vielleicht doch einmal versagen kann; so hat z. B. A. Wellmann durch seine Studien über anomale Dispersion in der Sonnenatmosphäre sich überzeugt, daß auch Wismut und Platin der Sonne angehören, die beide in Rowlands Liste fehlen. Allein selbst gesetzt, die Abwesenheit des Sauerstoffs lasse sich endgiltig darthun, so würde Lockyers Behauptung, der Sonne fehlten gänzlich alle nichtmetallischen Elemente, auch durch das Vorkommen des Kohlenstoffs widerlegt werden. Und dieses ist gesichert. Nach den Untersuchungen von J. Trowbridge (geb. 1843) macht sich dieser Grundstoff nur deshalb zu wenig geltend, weil seine Linien durch die Eisenlinien großenteils überdeckt werden.

Es bedarf jedoch nicht der ausdrücklichen Hervorhebung des Umstandes, daß Lockyers Annahme, der große solare Heizofen möge wohl zu sehr viel anders gearteten chemischen Prozessen die Veranlassung geben, einen sehr richtigen Kern enthält. Von vornherein war zu erwarten, daß uns auf der Sonne chemische Zustände entgegentreten würden, für die wir auf der Erde überhaupt kein oder wenigstens einstweilen kein Analogon besitzen. Das hat sich bewahrheitet, aber glücklicherweise hat sich in einem sehr ausgezeichneten Falle zeigen lassen, daß auch die irdische Chemie, wenn ihr nur das Ziel richtig gesteckt war, dasselbe Ergebnis zu liefern vermochte, welches bis dahin der Sonne eigentümlich zu sein schien. Die gründlichen Analysen, welche S. P. Langley (geb. 1834) dem ultraroten und ebenso Andere, wie Ch. A. Young (geb. 1834) und die Beobachter der „Kenwood-Warte“ in Chicago, dem ultravioletten Sonnenspektrum haben zu teil werden lassen, machten uns mit einer ganzen Reihe neuer Linien bekannt, die noch ihrer Interpretation harren, und auch im eigentlichen Spektrum sind die neuen Funde noch lange nicht an ihrem Ende angelangt. Um die weitaus wichtigste Entdeckung dieser Art recht verständlich zu machen, müssen wir allerdings etwas weiter ausholen und eine kurze Darlegung der Ansichten einschalten, die man sich über die Anordnung der äußeren

Sonnenschichten teils nach den totalen Sonnenfinsternissen, teils wieder auf Grund spektroskopischer Errungenschaften gebildet hat.

Schon 1859 führten Frankland und Lockyer für die zarte, wesentlich rosarot gefärbte Gashülle, die sich nach dem Befunde bei Verfinsterungen um die eigentlich leuchtende Sonne konzentrisch herumlegt, den Namen Chromosphäre ein; und um dieselbe auch in gewöhnlichen Zeiten bequem studieren zu können, blendete man den Sonnenkörper durch eine dunkle Scheibe ab, worauf der spektralanalytischen Untersuchung der Außenhülle kein Hindernis mehr entgegenstand. Aber jenseits der Chromosphäre hatte sich auch stets schon bei gänzlicher Verdeckung der Sonnenscheibe durch den Mond, besonders schön bei der berühmten Finsternis von 1851, ein noch viel zarter schimmernder Glorienschein, die sogenannte Korona (Abschnitt V), bemerklich gemacht; F. K. Ginzel (geb. 1850), der es sich zur Aufgabe gestellt hat, astronomische Ereignisse vergangener Zeiten aus den Quellen zu erforschen, ist geneigt, eine byzantinische Schilderung dessen, was bei der Sonnenfinsternis von 968 gesehen ward, als erste Erwähnung der Korona anzuerkennen. Im Bereiche beider Lichthüllen haben dann noch die sogenannten Protuberanzen ihren Tummelplatz, rötlich gefärbte und oft bizarr geformte Auswüchse, die vom Sonnenrande aus aufsteigen und sich nicht selten bis zu gewaltiger, in einzelnen Fällen 8 bis 10 Erdhalbmesser erreichender Höhe erheben. Diese äußeren Sonnenregionen nun haben uns mit einem neuen chemischen Elemente bekannt gemacht; allerdings ist dasselbe auch der Erde nicht versagt, aber auf ihr derart versteckt, daß es sich vielleicht niemals gezeigt hätte, wenn nicht durch die Himmelsforschung einer planmäßigen Nachstellung der Weg gewiesen worden wäre.

Von Crookes war bereits vor einiger Zeit eine helle gelbe Linie im Spektrum der Chromosphäre bemerkt worden, für die sich keine Erklärung geben ließ; dieselbe findet sich auch, und zwar zusammen mit mehreren anderen, ebenfalls noch unbestimmten Linien in den von Deslandres hergestellten Photogrammen des Photosphärenspektrums. Man entschied sich also dahin, daß ein neues Element vorliege, und um seinen Ursprung sofort klarzustellen, nannte man es Helium. Doch bald begann man zu ahnen, daß

doch vielleicht auch auf der Erde dieser anscheinend charakteristische Sonnenstoff nachgewiesen werden könnte. Seit 1890 war in einem von A. E. v. Nordenskiöld dargestellten Minerale, welches nach dem Chemiker Cleve den Namen Cleveït empfing, von Hillebrand ein Gas ermittelt worden, das zwar mit Stickstoff viele Ähnlichkeit hatte, nachgerade aber von W. Ramsay (geb. 1852) als ein selbständiges Element erkannt und, weil es zum Eingehen von Verbindungen äußerst schwerfällig ist, das „träge", Argon, zubenannt wurde. Näheres über diese Entdeckung, die durchaus nicht vereinzelt blieb, hat der spätere, der Chemie bestimmte Abschnitt darzulegen. C. Runge hatte die ebenfalls gelbe Argonlinie in eine Doppellinie aufgelöst, und ein Gleiches geschah durch Huggins und G. E. Hale bezüglich der Heliumlinie D_3. Letztere ist nicht auf die gewöhnliche Chromosphäre eingeschränkt, sondern offenbart sich auch in den Protuberanzen. Durch diese Konstatierung wurde also zugleich die innige Verwandtschaft von Helium und Argon, welch letzteres überaus leicht, nur wenig über zweimal spezifisch schwerer als das leichteste der bekannten Gase (Wasserstoff) ist, erwiesen. Man durfte gleich hoffen, daß auch jene helle grüne Koronalinie, welche W. W. Campbell und C. F. Crocker bei der totalen Sonnenfinsternis des 22. Januar 1899 auffanden, zur Entdeckung eines neuen Elementes verhelfen werde, denn unter den bisher bekannten war keines, dessen Existenz sich im Spektrum durch eine solche Linie verriet.

Man erkennt, die Forschung nach der chemischen Beschaffenheit der Sonnengase hat ihre Anstrengungen gerade in den letzten Jahren des Jahrhunderts durch die schönsten Erfolge gekrönt sehen dürfen. Aber auch das Studium der physikalischen Vorgänge auf der Sonne ist nicht zurückgeblieben. Um zunächst mit dem normalen Aussehen der von Flecken und Fackeln freien Oberfläche anzufangen, sei bemerkt, daß seit den achtziger Jahren die Granulation derselben, die Secchi bereits zehn Jahre zuvor sorgfältig beschrieben hatte, durch Spektroskop und Photographie eifriger erforscht wurde. Des römischen Astronomen großes Werk „Die Sonne", von dem H. Schellen (1818—1884) eine vorzügliche deutsche Ausgabe (1872) veranstaltet hat, suchte zuerst die Ansichten

über diesen Zerfall der bei geringerer Vergrößerung undifferentiiert erscheinenden Lichtmaterie zu klären; Huggins nannte diese kleinsten, sichtbaren Einzelbestandteile, die Atome, wenn man so will, Körner, während dieselben von Dawes mit Strohhalmen, von Nasmyth mit Weidenblättern verglichen wurden. Doch löste man später, wie Newcomb im Jahre 1883 hervorhob, auch die Weidenblätter in noch kleinere Körner auf, und zwar waren bei diesem Zerlegungsakte vornehmlich die Photogramme von Janssen und Langley beteiligt. Ein Weidenblatt hat im Maximum eine ungefähre Absolutbreite von 800 km, wird aber durchschnittlich etwas weniger ausgedehnt sein. Ausgehend von der höchst wahrscheinlich generell zutreffenden Annahme, daß die Morphologie der Sonnenoberfläche eine zu allererst meteorologische Deutung ihrer Phänomene erheischt, hat J. Scheiner unlängst eine sehr plausible Hypothese über die Sonnenkörnung aufgestellt. „Ich betrachte," sagt er, „die hellen Körner der Photosphäre als die durch vermehrte Kondensation sichtbar gewordenen Wellenberge sich durchkreuzender Wellensysteme." Wir werden in Bälde erfahren, daß diese Erklärung gut zu einer anderen stimmt, welche sich auf die Flecke und Fackeln bezieht. Diesen stärkeren Unterbrechungen der Lichthomogeneität auf der Sonne wenden wir uns jetzt zu.

Von neueren Versuchen, die Sonnenflecke gemäß dem durch die Spektralanalyse geschaffenen neuen Standpunkte, von dem aus alle solaren Geschehnisse betrachtet werden müssen, zu begreifen, ist uns bis jetzt lediglich derjenige G. Kirchhoffs bekannt geworden. Er brach, wie wir sahen, bewußt mit der Wilson-Herschelschen Theorie, und diese wird auch durch die Bemühungen eines so angesehenen Astrophysikers, wie es der Sizilianer — wenn auch geborene Modeneser — A. Riccò (geb. 1844) ist, schwerlich mehr zu neuem Leben erweckt werden können. Denn derselbe operiert doch (1897) hauptsächlich mit der schon von Secchi überzeugend nachgewiesenen, auch aus seinen eigenen vieljährigen Beobachtungen hervorgehenden Thatsache, daß die Flecke zumeist eine Tiefenparallaxe zeigen, also wirkliche Einsenkungen darstellen, wogegen umgekehrt den Fackeln eine wirkliche Auftreibung, eine Erhöhung der leuchtenden

Materie über das normale Sonnenniveau, entsprechen dürfte. Beides ist richtig, aber sehr wohl auch mit der nun einmal nicht mehr aus der Welt zu schaffenden Thatsache zu vereinbaren, daß die Sonne sich im eigentlichen Glühzustande befindet, und daß in ihren äußeren Lagen fortwährend die heftigsten Wallungen stattfinden. Kirchhoffs Wolkentheorie war, wie man sah, begründeten Angriffen ausgesetzt, und viele, die sich nicht vorzustellen vermochten, daß leichte, wolkenartige Gebilde den ungeheuren Strahlungs- und Leitungseinwirkungen durch Wochen und Monate sollten Stand halten können, neigten Zoellners in den Jahren 1870 und 1873 entstandener Auffassung zu, daß man in den Flecken Schlackenbildungen von wesentlich festem Aggregatzustande zu erblicken habe; freilich würden auch solche Körper den zerstörenden Einflüssen verhältnismäßig bald erliegen. Den dynamisch-meteorologischen Gesichtspunkt nahmen in den siebziger Jahren die Fleckentheorien von Th. Reye (geb. 1838) und Faye zur Richtschnur; beide haben den Grundgedanken, daß die Fleckbildung der Wirbelbewegung in einer atmosphärischen Trombe vergleichbar sei, miteinander gemein, aber hinsichtlich der Art der Bewegung waltet eine grundsätzliche Verschiedenheit ob, indem der deutsche Mathematiker eine aufsteigende, der französische Astronom eine absteigende Bewegung für gegeben erachtet. Freilich muß man sich, wie auch die sonst der Trombentheorie geneigten Amerikaner Young und Langley durchblicken lassen, darüber wundern, daß man doch von eigentlicher Drehbewegung in den durcheinanderwogenden Lichtmassen nichts wahrnimmt. Diesen Prozeß des Wogens sucht P. K. Braun (geb. 1831; Direktor der dem Erzbischofe Haynald gehörenden Sternwarte zu Kalocsa in Ungarn) näher zu ergründen. Es werden fortwährend Gasmassen auf- und absteigen, und wenn die erkaltenden Gase, schwerer geworden, sich wieder zum Niedersteigen anschicken, dann wird es zu Kondensationen aller Art und zur Ausscheidung geschmolzener Bor-, Silicium- und Kohlenstoffteilchen kommen, die, wie es beim tellurischen Regen mit den Wasserkügelchen der Fall ist, nach unten fallen. Die Dämpfe, die sich erheben, identifiziert Braun mit den Reiskörnern, die sinkenden Kondensationsprodukte mit dem

Netzwerke der Photosphäre, und indem die letztere, äußerst leicht und zart wie sie ist, durch die verdichteten Metalldämpfe niedergedrückt wird, kommt es zur Fleckbildung mit ausgesprochener Tiefenparallaxe. Man muß sich nur immer mit Langley daran erinnern, daß bei aller qualitativen Ähnlichkeit doch in quantitativer Beziehung die allergrößten Gegensätze zwischen den Vorgängen der solaren und der terrestrischen Außenhüllen unverkennbar sind, indem nur, wie sich J. Scheiner ausdrückt, die Dichte an der Sonnenoberfläche eine für uns Erdenbewohner „unvorstellbar geringe ist". Aber Dichtedifferenzen, hervorgebracht durch nicht allenthalb gleichen Temperaturstand, sind eben doch vorhanden, und wo sie sich finden, da müssen auch auf- und absteigende Strömungen der Gase und Dämpfe ausgelöst werden. Örtlichkeiten starken Druckes sind durch Fleckenbildung, Örtlichkeiten schwachen Druckes — Depressionen — sind durch Fackelbildung ausgezeichnet. Dies ist der Kernpunkt der geistvollen und sehr umsichtig begründeten Theorie E. v. Oppolzers, die auch den eigentümlichen Gesetzen der heliographischen Fleckenverteilung und der Eigenbewegung auf der Sonne gerecht zu werden bestrebt ist.

Unwillkürlich wurde bei allen bisherigen Darlegungen stillschweigend vorausgesetzt, daß die Sonne ein — gleichviel in welchem Aggregatzustande befindlicher — distinkter Ball ist, der frei im Weltraume schwebt und von einer sich nach außen zu immer mehr verdünnenden Hülle gasförmiger Stoffe, eben der Photosphäre, umschlossen ist. Gerade diese Voraussetzung ist indessen keine unwidersprochene. Im Jahre 1891 trat nämlich Aug. Schmidt (geb. 1840) mit einer jedenfalls beachtenswerten Hypothese hervor, die bald Zustimmung und Opposition fand, von ihrem Urheber aber gegen Seeliger und v. Oppolzer energisch in Schutz genommen wurde. Man kann sich Atmosphären denken, die so beschaffen sind, daß ein ausfahrender Strahl gar nicht ins Freie gelangen kann, sondern wieder durch Refraktion der Ausgangsschicht zurückgegeben wird. Schmidt rechnet die Sonne zu den von einer solchen kritischen Schicht umgebenen Weltkörpern, und falls es sich wirklich so verhält, verliert das sonst klare Wort

Sonnenrand seine Bedeutung, denn derselbe ist dann nichts weiter als das durch eine ungewöhnliche Strahlenbrechung entstandene, vergrößerte Bild der kritischen Sphäre. Die Mehrzahl der Fachmänner verbleibt allerdings dabei, den Sonnenrand als ein Äquivalent der Photosphäre aufzufassen.

Die Chromosphäre, um zu ihr fortzuschreiten, haben wir uns als einen Mantel stärkst verdünnter Gase zu denken. Vielfach verlegt man in sie den Ort des die Fraunhoferschen Linien erzeugenden Umkehrungsprozesses; doch wird dem von Lockyer widersprochen, der ihr aber immerhin einen namhaften Einfluß auf Anzahl und Stärke dieser Streifen zuerkennt. Irgend eine innere Verschiedenheit zwischen Chromosphäre und Korona wird nicht zu vermuten sein, indem nur in letzterer der Verdünnungsprozeß noch entschiedener seines Amtes gewaltet hat. Die Korona nimmt an den durch die elfjährige Sonnenfleckenperiode bedingten Veränderungen nach Lockyer ebenfalls teil. Vor etwa zehn Jahren entstand auf nordamerikanischem Boden, hauptsächlich von Bigelow und Schaeberle gefördert, eine magnetelektrische Theorie der Korona; die Strahlenbüschel, welche in ihr erkannt worden sind, erklärte man für Kraftlinien im Faraday-Maxwellschen Sinne, die, um die im elften Abschnitte auseinandergesetzte Bezeichnungsweise beizubehalten, in den beiden Sonnenpolen jeweils eine Quell- und eine Sinkstelle haben sollten. Diejenige Anordnung aber, welche bei der Sonnenfinsternis vom 16. April 1893 an den erwähnten Strahlenbüscheln wahrgenommen wurde, ist der Annahme, daß die feine Koronamaterie unter der polaren Einwirkung des Sonnenkörpers sich ähnlich in Linienzügen anordne, wie man dies bei Eisenfeilspänen unter der Einwirkung eines Stab- oder Hufeisenmagneten beobachtet, nicht gerade günstig zu nennen.

Als in den vierziger Jahren die Protuberanzen, die übrigens der Schwede Vassenius schon anläßlich der Finsternis von 1706 sachgemäß beschrieben hat, in den Vordergrund des wissenschaftlichen Interesses traten, war man, wie erwähnt (Abschnitt V) anfänglich nicht recht geneigt, dieselben als echt solare Gebilde anzuerkennen, und O. v. Feilitzsch sprach sie, von den Ergebnissen seiner Experimente

geleitet, direkt als Beugungserscheinungen ohne objektive Grundlage an. Nicht wesentlich anders dachte E. Plantamour (1815—1882) noch im Jahre 1860, während bei derselben Gelegenheit — es handelte sich um die Finsternis, die in Spanien ihre Totalität hatte — Gautier vom Gegenteile überzeugt wurde. Eine Entscheidung war so lange nicht zu bewirken, als man sich von dem Medium der vollkommenen Sonnenfinsternisse abhängig wußte; seit 1870 aber konnte man sich von diesem erschwerenden Umstande befreien, indem Zoellner, Janssen und Lockyer das Spektroskop derart verbesserten, daß die Protuberanzen zu jeder beliebigen Tageszeit untersucht werden konnten. Von da ab häuften sich selbstredend die Forschungsresultate. Man maß die, wie oben gesagt, ungeheure Höhe der Auswüchse; L. Trouvelot will eine solche von 3 Bogenminuten Höhe erblickt haben, und das würde dem fünften Teile des Sonnenhalbmessers gleichkommen! Daß die Protuberanzen nicht irgendwie an die Rotation der Sonne gebunden seien, wie anfänglich hin und wieder geglaubt ward, wies P. Tacchini (geb. 1838), hervorragender italienischer Astrophysiker und Herausgeber des der „Società degli Spectroscopisti Italiani“ dienenden Publikationsorganes, überzeugend nach. Bald gewann man die Erkenntnis, daß nicht alle diese Gebilde völlig gleichartig sind, und indem Spoerer und Secchi, jeder für sich, den unverkennbaren Unterschied mittelst des Spektralapparates aufklärten, stellten sie fest, daß es flammig-metallische und Wasserstoff-Protuberanzen giebt, von denen die letzteren ein ganz markantes Vorwiegen der Wasserstofflinie an den Tag legen. Sie sind eben, wie Kempf betont, eruptiv, während die mehr aus Metalldämpfen sich zusammensetzenden Protuberanzen der ersteren Gattung wolkige Gebilde darstellen. Was es mit einer von Tacchini entdeckten dritten Gattung, deren Licht nicht rötlich, sondern weiß erscheint, auf sich hat, ist einstweilen noch eine offene Frage; vielleicht deckt sich ihre Natur mit derjenigen der dem Anscheine nach nicht direkt aus dem Sonnenrande hervorbrechenden, sondern frei schwebenden Protuberanzen, deren Spektrum Spoerer durch die sehr helle Magnesiumlinie typisch gekennzeichnet fand. Nach Fenyi und Schaeberle sind

die explosiven Wasserstoffentladungen, die mit einer — nach der Verzerrung der Spektralstreifen abzuschätzen — rapiden Geschwindigkeit nach außen streben, im Wesen nichts anderes als auch die gewöhnlichen Koronastrahlen, zerstreuter Wasserstoff in mehr oder weniger konzentrierter Staubform. Es ist von jenen Astronomen ersichtlich das im achten Abschnitte erwähnte Dopplersche Gesetz verwertet worden, welches besagt, daß die Lichtwelle des dem Beobachter sich nähernden Leuchtkörpers eine Verkürzung, diejenige des vom Beobachter sich entfernenden Leuchtkörpers eine Verlängerung erfährt; da nun die Länge der Lichtwelle den Ort im Spektrum festlegt, so ist notwendig mit der Veränderung des Ortes in der Gesichtslinie eine Biegung der Linien des Spektrums im einen oder anderen Sinne verbunden. Mehr hierüber wird bei den Fixsternen zu sagen sein; aber auch für die genauere Bestimmung der Umdrehungsdauer der Sonne hat sich die hiermit erläuterte Verwendung des Spektroskopes nützlich erwiesen.

Über die Planeten, welche nur mit erborgtem Sonnenlichte leuchten, konnte dieses Instrument keine allzu unerwarteten Aufschlüsse liefern. H. C. Vogels 1874 herausgegebene Schrift über die Planetenspektren ist noch immer die Hauptquelle unseres einschlägigen Wissens, doch haben auch W. S. Ball und Lohse (1892 und 1894) wichtige Beiträge hierzu erbracht. Die bekannten Linien des Sonnenspektrums finden sich allenthalben vor, daneben jedoch auch solche, die wir von unserer irdischen Lufthülle her kennen, und die dafür sprechen, daß die Planeten durchweg von ziemlich dichten Atmosphären umgeben sind; in denselben scheint Wasserdampf vertreten zu sein, und zwar ist dies durch kräftige Absorptionsbänder am sichersten erwiesen für Venus, während für Mars, den wir uns ja doch als einen großenteils mit Wasser bedeckten Planeten vorstellen, die spektroskopische Erkennbarkeit des Wasserdampfes von Campbell geleugnet werden wollte. Auch für Jupiter, Saturn und Uranus ist die Anwesenheit von Wasserdämpfen überaus wahrscheinlich gemacht; das Ringsystem des Saturn freilich bekundet keine Anzeichen einer Atmosphäre, wohl weil es überhaupt nicht als kompakter Körper zu betrachten ist. Dies folgt auch aus den von Seeliger dis-

kutierten Spektralbeobachtungen von Keeler und Campbell, die aber allerdings der Hypothese, daß eine größere Anzahl flüssiger, voneinander getrennter Ringe um den Zentralkörper rotiere, nicht widersprechen würden. Die größten Unterschiede gegenüber dem Spektrum der Sonne weist dasjenige Neptuns mit seinen breiten, durch Absorption entstandenen Banden auf. Sehr ähnlich in meteorologischer Hinsicht scheint unserer Erde Jupiter zu sein, dessen atmosphärischer Normalzustand, wie Pickerings Beobachtungen während der günstigen Opposition von 1892 lehrten, das Vorherrschen einer dichten weißen Wolkendecke ist, während in größerer Höhe viel feinere Wölkchen, Cirrusbildungen, schweben. Starke Eigenbewegungen in der Jupiteratmosphäre, von denen St. Williams sogar neun regelmäßige Systeme unterscheidet, erschweren die spektroskopische Bestimmung der Umdrehungszeit des Planeten und bewirken mutmaßlich auch die starken Schwankungen der Helligkeit des selbst beweglichen roten Fleckes. Auch in Bezug auf die planetarischen Mondsysteme konnte die spektralanalytische Ausbeute keine sehr beträchtliche sein. Erwähnung verdient, daß Pickering aus einer Veränderung, welche das Spektrum des Jupiter in dem Augenblick erfuhr, da der Planet hinter der Scheibe des Mondes verschwand, auf ein Vorhandensein von Wasserdampf — und damit also auch von Luft — auf der rückwärtigen Mondhemisphäre schloß. Daß dieser mit Rücksicht auf Luft und Wasser eine von der sichtbaren Halbkugel ganz verschiedene Natur eignen könne, hatte W. Valentiner aus ganz anderen Gründen angedeutet. Er verwies auf die bereits zuerst von Kant geahnte, von Hansen und M. Gussew (1826 bis 1866) durch gute Argumente gestützte Thatsache, daß der Schwerpunkt des Mondes nicht in dessen geometrischen Mittelpunkt, sondern in die jenseitige Trabantenhälfte fällt; dadurch rage die andere gewissermaßen bergartig empor und entbehre schon deshalb einer dichteren Atmosphäre. Für diesen Mangel lassen sich aber auch, wie der Schluß des Abschnittes zu erörtern haben wird, kosmogonische Motive ins Gefecht führen.

Sehr viel neues Licht haben die verfeinerten physikalischen Untersuchungsmethoden über die Kometen verbreitet. Die ersten

spektroskopischen Aufnahmen dieser Weltkörper gehören dem Jahre 1864 an, und Huggins, Donati und Secchi waren es, die den neuen Zweig der kometarischen Astronomie begründeten. Nicht lange nachher erregte Zoellners Kometenwerk („Über die Natur der Kometen; Beiträge zur Geschichte und Theorie der Erkenntnis", Leipzig 1872, 1875, 1883), welches übrigens weit über den eigentlichen Gegenstand hinaus- und in eine Menge anderer Wissensgebiete übergreift, berechtigtes Aufsehen, zumal als W. Zenker in einer Gegenschrift die Kometenschweife als die nach Art der Raketen fortgetriebenen Dämpfe des durch Bestrahlung aufgelösten Kernes definierte. Zoellner hatte, wie nachmals auch H. Kayser bekräftigte, jedenfalls darin recht, daß er auf Grund des Spektralbefundes den Kometenkörper als eine Bildung von Kohlenwasserstoffverbindungen ansah, und nicht minder bleibt ihm das Verdienst, die sonderbare, mit dem sonstigen wissenschaftlichen Rufe ihres berühmten Urhebers kaum in Einklang zu bringende Hypothese Tyndalls beseitigt zu haben, welcher zufolge die Schweife aktinische Wolken sein sollten, wie sie etwa entstehen, wenn man Sonnenlicht auf ein mit Amylnitrat gefülltes Glasrohr fallen läßt. Endlich hat sich auch in unserer Zeit mehr und mehr die Zoellnersche Ansicht ausgebildet, daß bei dem Phänomen der Schweifbildung ein elektrisches Sonnenpotential stark beteiligt sei, welches man allerdings auf sehr verschiedene Arten zustande gekommen denken kann. Werner Siemens nahm z. B. die kontinuierlichen Ströme feinst verteilter Materie dafür in Anspruch, die der Sonnenkörper in seinen Polargegenden an sich ziehen und an seinem Äquator wieder in den Weltraum hinausschleudern soll. Mit am eingehendsten hat der russische Astronom F. Bredichin (geb. 1831) die Verhältnisse der Schweifbildung untersucht, indem er ebenfalls von Bessels Lehre von der im Kometen thätigen polaren Kraftwirkung ausging. Er teilte die Schweife nach drei Typen ein, deren rein morphographische Selbständigkeit auch von Denen zugegeben wird, die in theoretischer Hinsicht einer anderen Meinung huldigen. Bredichin setzt die Repulsivkraft, welche die Teilchen nach dem alten Apianschen Erfahrungssatze von 1531 in den Raum hinaus treibt, am größten beim spezifisch

leichtesten Gase voraus und läßt sie mit den Atomgewichten der in Rede stehenden Elemente zunehmen, so daß sie bei Wasserstoff etwa 60mal größer als bei Kupfer wäre. Wäre dem aber so, dann ließe sich, wie N. Herz einwendet, die Thatsache nicht recht verstehen, daß die Repulsivkraft mit der Zeit überhaupt abnehmen soll. Herz will (1893) an die Stelle jener unbestimmt bleibenden abstoßenden Kraft die durch Influenz von der Sonne her auf dem Kometenkörper angesammelte Elektrizität betrachtet wissen und nimmt stetige Ausgleichungen zwischen den polarisierten Partikeln des Schweifes und denen des Weltäthers zu Hilfe, wobei sich Lichterscheinungen, ähnlich denen in den Geißlerschen Röhren, entwickeln müßten. Jedenfalls wird das letzte Wort bei diesen noch lange nicht spruchreifen Fragen die Spektralanalyse zu sprechen haben, die nach Vogel 1872 noch viel zu wünschen übrig ließ, seitdem aber unter seinen Händen, sowie auch durch das Eingreifen C. B. Hasselbergs (geb. 1848) und G. H. J. Kaysers (geb. 1853) anerkennenswerte Fortschritte gemacht hat. Auch Campbells mit der Photographie erlangte genauere Bestimmungen der im Kometenlichte vorkommenden Wellenlängen fallen ins Gewicht. Kohlenstoff und Cyan sind danach, wie Kayser (1894) ausführt, im Kometenspektrum sicher nachgewiesen worden, und es könnte mit Vogel hypothetisch angenommen werden, daß eine Überlagerung des Kohlen- und des Kohlenoxydspektrums die vorgefundenen Anomalien befriedigend erkläre, wenn nicht gerade die lichtstärksten Banden des zweitgenannten Spektrums fehlten, während ein paar lichtschwächere vorhanden sind. Kayser nun macht für das Auftreten vieler der noch nicht gehobenen Schwierigkeiten eine rein äußerliche Ursache verantwortlich, darin bestehend, daß man wegen der geringen Helligkeit des Kometenlichtes den Spalt des Spektroskopes zu weit öffnen muß, und daß man bei Anwendung einer verfeinerten Beobachtungseinrichtung, wie sie zumal der von dem Hamburger Optiker H. Krüß (geb. 1853) erfundene Doppelspalt gewährt, das unklar gebliebene Kometenspektrum in ein echtes Kohlenspektrum überzuführen vermag, wie es der zwischen zwei Kohlenspitzen gespannte Lichtbogen entwirft. Vogel hat sich dieser Erklärung wenigstens teilweise angeschlossen, aber es leuchtet ein,

daß aller Erfolge ungeachtet die Schweifsterne noch immer als die mysteriösesten unter den Gliedern unseres Sonnensystemes anzusehen sind.

Auch die heller glänzenden Meteore haben sich der spektroskopischen Analyse nicht entzogen. Da die Zeit, während deren ein solcher kosmischer Herumtreiber sichtbar ist, niemals nach anderen Einheiten als nach Sekunden bemessen werden kann, so darf man sich nicht auf eine ordnungsmäßige Beobachtung am Apparate verlassen, sondern man muß — ähnlich wie bei den früher besprochenen Blitzen — zu einem Taschen- oder Meteorspektroskope seine Zuflucht nehmen, wie ein solches unter anderem von J. Browning (um 1870) angegeben worden ist. Dasselbe funktioniert so rasch, daß sein Erfinder damit sogar die Spektren geworfener Leuchtkugeln erkennen und darin die verglühenden Metalle Baryum und Strontium aufzeigen konnte. Zumal wenn man ungefähr die Radiationsstelle am Himmel kennt und deshalb das Instrumentchen gleich richtig stellt, gelingt in überraschend kurzer Frist eine ziemlich große Zahl vertrauenswürdiger Bestimmungen. Browning bestätigte A. Herschels Angabe, daß wenigstens die Kerne der Meteore ein wesentlich kontinuierliches Spektrum besitzen, während in den häufig erstere begleitenden Schweifen, die nach Galle vorübergehend den Eindruck von Kometen erwecken können, eine helle gelbe Linie erscheinen kann; bei den Perseiden ist letztere fast die Regel, bei den Leoniden seltene Ausnahme. Auch Secchi erkannte 1868 in Meteorschweifen deutlich die Magnesiumlinie. Seit 1893 ist das Inventar der Meteoritenforschung durch Elkin und Lockyer auch mit Photogrammen von Sternschnuppen und mit Photographien von Meteoritenspektren bereichert worden. Im letzteren Falle fiel die Ähnlichkeit mit dem Sonnenspektrum auf; am klarsten traten die Eisenlinien hervor, aber auch andere Elemente waren in den beiden von Lockyer untersuchten Fällen in gar nicht geringer Anzahl vorhanden. Man wird einräumen müssen, daß ein Photogramm vor dem Browningschen Verfahren, das ja nur einen Notbehelf abgiebt, unbedingt den Vorzug verdient, und daß das linienlose Spektrum sich auch bei den Meteoriten, deren Licht nur für Augenblicke festzuhalten war, in ein

Linienspektrum verwandelt haben würde, hätte die Beobachtungsdauer eine längere sein können.

Den Meteoriten gegenüber befinden sich Astrophysik und Astronomie in einer ungewöhnlich günstigen Lage, denn während man sich bei allen übrigen astronomischen Objekten damit begnügen muß, sie auf eine nach Hunderttausenden, Millionen und Billionen von Kilometern zählende Entfernung zu betrachten, bekommt man von ersteren bei gutem Glück dann und wann Exemplare unter die Hände und kann sie dann mit Muße dem Laboratoriumsversuche unterwerfen. Was thatsächlich zum Erdboden gelangt, ist freilich nur ein winziger Bruchteil der Gesamtheit, denn wie Flammarion (1880) mitteilte, berechnen R. A. Coulvier-Gravier (1803—1868) und Newcomb die Anzahl der in den äußeren Schichten unserer Atmosphäre sich entzündenden Weltkörperchen zu 40 Millionen oder gar zu 46 Milliarden; minimal erscheint vor diesen Riesenziffern die Menge der wirklich herabgelangten Fallstücke, und wir können uns nur denken, daß die meisten im Momente verbrennen und sich in feinsten Staub verwandeln. Immerhin ist doch die Vertretung der Meteorite in unseren Mineralienkabinetten eine ganz stattliche, wie dies namentlich in München und in Wien zu sehen ist; wie der Bestand schon vor vierzig Jahren war, geht aus der von C. L. O. Buchner (geb. 1828) im Jahre 1863 veröffentlichten Schrift über die Meteoriten in Sammlungen hervor. Im Jahre 1863 versuchte sich als der erste G. Rose an der Klassifikation dieser Körper, und auf ihn geht die bis zum heutigen Tage üblich gebliebene Scheidung derselben in die weit häufigeren Eisenmeteorite und die seltener zu findenden Steinmeteorite zurück. Was wir von letzterer Art wissen, beruht großenteils auf den genauen Analysen des allumfassenden Geologen v. Gümbel (1881); für die Eisenmeteorite sind die Arbeiten G. A. Daubrées (1814—1896) und Meuniers maßgebend geworden. Die des erstgenannten gehen bis auf die von ihm im Jahre 1867 durchgeführte Neueinrichtung des naturhistorischen Museums in Paris zurück und ziehen sich bis zu seinem Tode hin. Jetzt gewährt das von E. W. Cohen (geb. 1842) im Jahre 1894 begonnene größere Werk über Meteoritenkunde allseitige

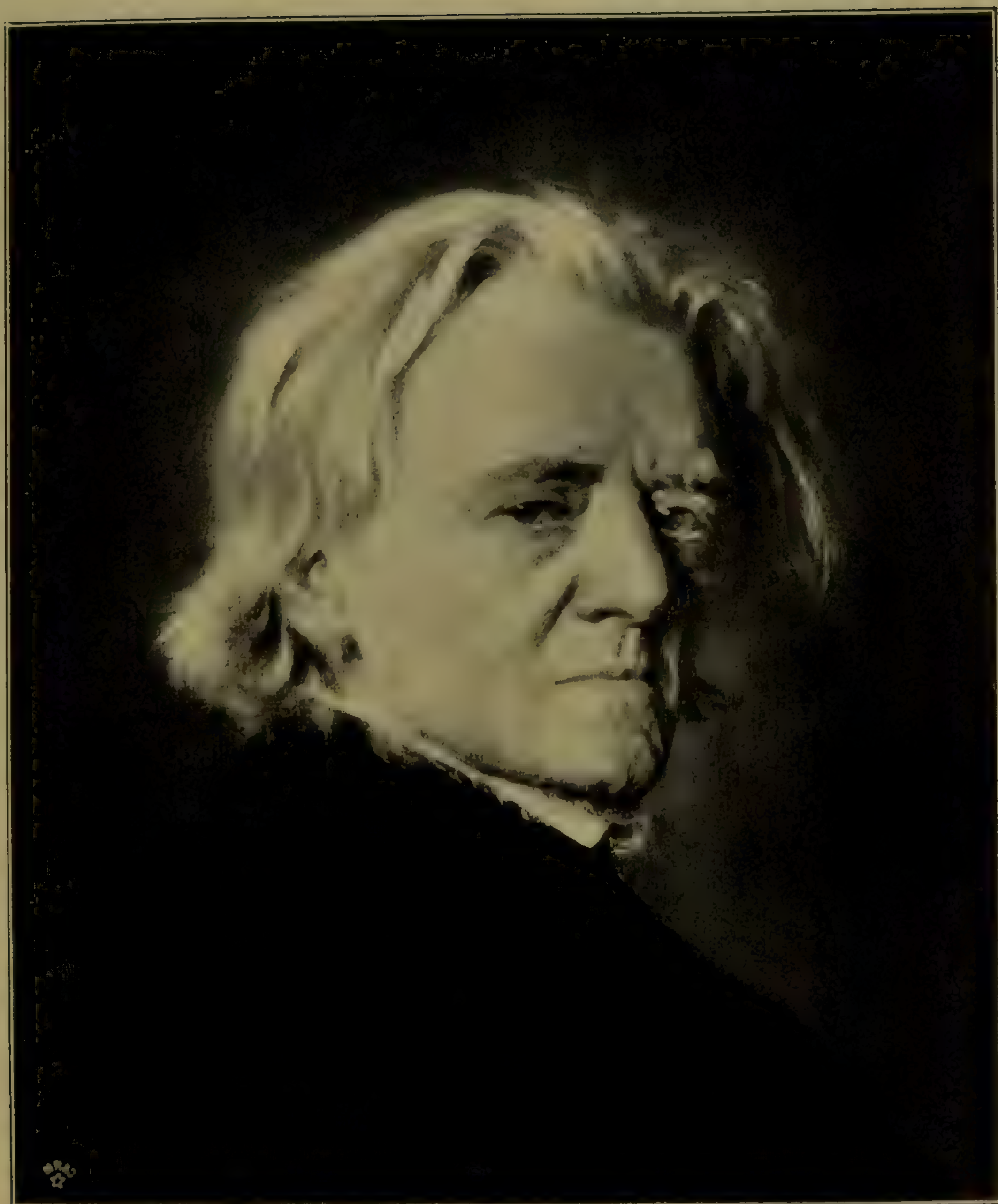
Belehrung. Daubrées Einteilung der Eisenmeteorite in Holo-, Sys- und Sporasideren, welch letztere wieder nach ihrer Dichte in drei Untergruppen zerfallen, hat viel Anklang gefunden. Bis jetzt hat noch kein Meteorstein neue chemische Elemente gebracht; auf der Erde minder bekannte chemische Mineralverbindungen wohl, aber auch sie lassen sich, wie Daubrée durch Verbindung geschmolzenen Enstatits und Olivins darthat, synthetisch herstellen, und nur ausnahmsweise begegnen uns unbekannte Verbindungen, wie der Daubréelit. Kohlenstoff ist in Form kleiner, aber echter Diamanten nachgewiesen worden; Platin und Iridium stellte J. M. Davison, Vanadium stellte Hillebrand dar. Mit Hilfe der sogenannten Widmannsstättenschen Figuren vermochte A. Březina (geb. 1848), dem man ausgedehnte Untersuchungen über das reichhaltige Wiener Material verdankt, die krystallographisch-mineralogische Prüfung der Meteormassen erheblich zu erleichtern. Im ganzen haben uns die petrographisch-chemischen Studien über die in den Bannkreis der Erde geratenen Körper nur in der Überzeugung befestigen können, daß die Beschaffenheit und Struktur der Materie allüberall im Weltenraume, aus dem ja auch Meteore zu uns gelangen, eine in allen wesentlichen Punkten gleichartige genannt werden muß. Helium und Argon hat Ramsay gleichfalls aufgefunden.

Von den Meteoriten führt ein Schritt hinüber zu der interessanten Erscheinung, die wir als Tierkreislicht kennen. Dieselbe war zwar anderwärts früher bekannt; die Araber und die alten Mexikaner hatten den merkwürdigen Lichtkegel, der sich in der Dämmerung zeigt, längst beobachtet, aber für Europa war die gegen Ende des 17. Jahrhunderts erfolgte Entdeckung gleichwohl neu. Dann aber waren es auch nur Einzelne, die, wie der bekannte Mairan, dem Zodiakallichte ihre Aufmerksamkeit zuwandten, und erst durch die beiden Weltreisenden A. v. Humboldt und J. K. Horner erhielt man davon bessere Beschreibungen und Zeichnungen. Später kam man zu der Einsicht, daß fürs erste eine genaue Kenntnis des Thatsächlichen von nöten sei, und so wurden mehrfach Anleitungen ausgearbeitet, um Reisende in den

Tropen, wo das Phänomen sich anerkanntermaßen weit großartiger als unter gemäßigteren Himmelsstrichen entfaltet, mit den Punkten, auf welche sie ihr Augenmerk zu richten hätten, vertraut zu machen. Solche Winke gaben z. B. Faye (1863) für die mit Kaiser Maximilian nach Mexiko ziehenden französischen Offiziere, Heis (1873) für die wegen des Venusdurchganges nach fernen Ländern entsandten Beobachter und E. Weiß (1875) für das von Neumayer herausgegebene, weiter unten uns aufs neue begegnende Handbuch für wissenschaftliche Reisende. In der That haben wir von solchen Erforschern der heißen Zone viele schätzenswerte Mitteilungen über das Tierkreislicht erhalten. In Europa beobachteten Brorsen, Schiaparelli, Heis, A. Serpieri (geb. 1823) u. a. sowohl das Lichtgebilde selbst als auch den matter glänzenden und deshalb seltener angeführten, immerhin aber schon um 1730 von Pézénas gesehenen Gegenschein, sowie die mitunter beide gegeneinander strebende Lichtobelisken verbindende Lichtbrücke. Die theoretische Spekulation mußte bei der Schwierigkeit, sich über den Ort des Lichtphänomenes zu vergewissern, mehr als in anderen Fällen einen stark hypothetischen Charakter behalten. Serpieri erklärte es für rein tellurisch; Houzeau sah in ihm zwar auch ein die Erde begleitendes, aber doch weit über die Atmosphäre hinausliegendes Anhängsel der ersteren, das diese wie einen Federbusch nach sich schleppe; Heis endlich und G. Jones sprechen sich für eine den Erdball ringförmig umschließende, abgeplattete Nebelmasse aus. Diese Ansicht scheint sich immer mehr zu befestigen und den Sieg über die von den großen Astronomen aus dem Anfange des Jahrhunderts befürwortete Theorie davonzutragen, daß die Sonne der Mittelpunkt des im Zodiakallichte zum Ausdrucke kommenden Nebelringes sei. Möglicherweise liegt eine Analogie mit dem Ringsysteme des Saturn vor, das ja auch aus staubförmigen Körpern zu bestehen scheint. Im Jahre 1888 hat W. Foerster unseren Wissensstand von diesem Seitengebiete der Himmelskunde, welches offenbar zugleich ein Grenzgebiet gegen die Geophysik darstellt, trefflich gekennzeichnet und zumal den Gegenschein ganz in derselben Weise auf eine rein perspektivische Folge des durch unser Auge bethätigten Projizierens des Lichtkegels auf eine Kugelfläche zurück-

geführt, wie man dies auch in der meteorologischen Optik thut, um „das Wasserziehen nach dem Gegenpunkte des Horizontes“ zu erklären. „Der Gegenschein wäre nichts anderes als der scheinbare Konvergenzpunkt der Lichthüllen oder Lichtstreifen, deren Mittellinie oder Achse die nach der Nachtseite verlängerte Verbindungslinie des Sonnen- und des Erdmittelpunktes bilden würde.“ In der Lichtstärke des Zodiakallichtes hat man neuerdings Schwankungen wahrgenommen, welche allem Vermuten nach mit der elfjährigen Sonnenfleckenperiode in einer gewissen Beziehung stehen.

Die Spektralanalyse wurde erst im Jahre 1867 auf die uns hier beschäftigende Erscheinung angewendet, und gleich bei diesem ersten Zusammentreffen machte Ångström eine merkwürdige Wahrnehmung: Die damals schon bekannte helle Nordlichtlinie, welche einer Wellenlänge von 0,0005567 Millimetern entspricht, tritt auch im Spektrum des Tierkreislichtes auf. Auch dieses weist auf den terrestrischen Ursprung des letzteren hin, und die damals noch sehr in der Luft schwebenden Auseinandersetzungen in Mairans Werke (1731) über einen wahrscheinlichen und sehr engen Zusammenhang zwischen dem an die Ekliptik gebundenen Zodiakallichte und dem auf polare und subpolare Bezirke beschränkten Nordlichte wurden nun wieder mehr beachtet. Allein die weiteren Mitteilungen von spektroskopischer Seite schufen wiederum ein anderes Bild. M. Hall hatte zu Ende der achtziger Jahre Gelegenheit, auf der Insel Jamaika Beobachtungen dieser Art unter vorteilhaften Bedingungen anstellen zu können, und diese ergaben für den Lichtschimmer ein kontinuierliches, der Linien ermangelndes Spektrum, in welchem man nur ein — mit der Annäherung an die Sonne seinen Platz wechselndes — Helligkeitsmaximum bemerkt hatte. Indem H. Ebert (geb. 1861) die Angaben Halls (1890) nachprüfte, fand er, daß das Tierkreislicht sich spektroskopisch ganz neutral verhielt, während sich in der That die behaupteten Helligkeitsunterschiede sehr gut abhoben. Ebert hält mit Rücksicht auf diesen Befund dafür, daß es schwierig sei, im Spektrum die Einwirkung des Ekliptiklichtes von jener des diffusen Tageslichtes zu trennen, und wenn man sich Ångströms Aussage genauer ansieht, so läuft sie eigentlich auf dasselbe hinaus.



Georg Balthasar Neumayer

John Philipp pinx.

Er betont nämlich ausdrücklich, daß damals, als er das Dasein jener charakteristischen Linie feststellte, das ganze Himmelsgewölbe in phosphoreszierendem Glanze erstrahlt habe, und da lag also offenbar auch ein Zusammenwirken verschiedener Lichteinflüsse vor. So wird mithin noch viel geschehen müssen, um nur erst einmal klar entscheiden zu können, wie man eigentlich, vom Standpunkte des Spektralanalytikers aus betrachtet, den rätselhaften Lichtschimmer als solchen unterscheiden kann.

Nicht weniger Rätsel erwarten uns auch im astrophysikalischen Teile der Stellarastronomie, wiewohl man gerade da mit berechtigter Genugthuung auf eine Reihe bedeutender und erfreulicher Erkenntniserweiterungen hinzuweisen in der Lage ist. Mit Konsequenz richteten, nachdem Rutherfurd vorangegangen war, den Spektralapparat auf den Fixsternhimmel Secchi, Huggins und Miller. Der Erstgenannte hatte auch den ersten Versuch einer Klassifikation der Fixsternspektren gemacht, aber über diesen Anfang erhob sich weit Secchis Aufstellung von vier gesonderten Fixsterntypen, zu welcher er um die Mitte der sechziger Jahre gelangte; als hodegetisches Prinzip wird diese Zuteilung aller Sternspektren zu einer bestimmten Klasse noch jetzt geachtet, wenn man auch inzwischen auf diesem Wege noch weitere Fortschritte zu machen so glücklich war. Das Spektrum erster Art, sehr weit verbreitet, ist durch starke Absorptionsbanden und Lichtschwäche der — trotzdem zahlreich vorhandenen — metallischen Linien gekennzeichnet; hierher gehören die weißes und bläuliches Licht, zusammen mit vielen ultravioletten Strahlen, aussendenden Sterne, darunter die Mehrzahl derjenigen erster Größe. Der zweite Typus umfaßt die unserer Sonne ähnlichen Fixsterne (z. B. Kapella und Arktur), die demnach gelblich schimmern; eine Fülle dunkler Linien ist das auszeichnende Merkmal des Spektrums. Zum dritten Typus gehören die meisten roten und veränderlichen Sterne, und zwar ist jetzt das Spektrum kanneliert, d. h. die farbigen Linien stehen wie die hell beleuchteten und folglich in dem der Lichtquelle abgewandten Teile beschatteten Säulen eines Portikus nebeneinander. Das Licht kommt vom roten Ende, während es bei den Spektren vom vierten Typus, das auch kräftigere Absorptionsbanden auf-

weist, sonst aber dem vorgenannten verwandt ist, von der entgegengesetzten Seite her einzufallen scheint. Bei aller Verschiedenheit drücken sich jedoch in diesen Spektren selbständig leuchtende Himmelskörper, Sonnen, aus, die untereinander sehr große Ähnlichkeit haben und sich vorwiegend nur durch die Beschaffenheit ihrer Photosphären unterscheiden mögen. Huggins hatte damals bereits den Satz ausgesprochen, daß die Sternfarbe nicht als eine dem Lichte des Himmelskörpers inhärente Eigenschaft, sondern als eine Folge der in der Sternatmosphäre sich vollziehenden selektiven Lichtverschluckung zu gelten habe, und diese Thatsache würde auch nach der 1880 an ihr angebrachten Korrektur E. S. Holdens (geb. 1846) bestehen, der zufolge bei den Doppelsternen die Art der verschiedenen Färbung auch auf eine verschiedene Natur der Komponenten hinzeigen kann. Zoellner freilich trat gegen Huggins auf und wollte die Farbe auch als entwicklungsgeschichtliches Moment gedeutet wissen, und diese Auffassung hat sich seitdem, trotzdem ihr zumal von angelsächsischer Seite vielfach widersprochen wurde, sehr viele Anhänger verschafft, wie wir am Schlusse dieses Abschnittes noch darlegen werden. Auch H. C. Vogel eignete sich, als er 1874 mit seiner eigenen Einteilung der Sterne nach spektroskopischen Kriterien vorging, den von Zoellner ausgesprochenen Grundgedanken an. Die beiden ersten Gruppen Secchis nimmt Vogel nur als Unterabteilungen einer umfassenden Hauptgruppe an, so daß also wesentlich nur drei grundsätzlich voneinander abweichende Typen übrig bleiben. Nachdem man einmal die Grundzüge festgestellt hatte, handelte es sich weiter darum, den ganzen gestirnten Himmel spektroskopisch zu durchsuchen und Kataloge für die einzelnen Normalformen auszuarbeiten. Dunér in Lund gab einen solchen im Jahre 1884 heraus; die aufgenommenen Sterne, durch ihre ausgesprochenen Bandenspektren charakterisiert, gehören überwiegend zur dritten, zum geringeren Teile zur vierten Gruppe Secchis. Seitdem sind, wie Miß A. Clerke in ihrer Schrift „The Systeme of the Stars“ (London 1890) ausführt, zumal von J. Glaisher (1809—1874) noch weitere Spaltungen in Klassen versucht worden, indem zugleich Gewicht auf die Wahrnehmung gelegt ward, daß die Sternfarbe zur Lage der

Spektrallinien ein gewisses Verhalten bekundet; liegen die Streifen im kurzwelligen Teile des Spektrums, so erscheint der Stern gelb oder rot, während er blau oder violett schimmert, wenn die Streifen dem langwelligen Teile angehören. Nach dieser Seite gewährt das großartige Verzeichnis aller farbigen Sterne zwischen $+90^0$ und -23^0 Deklination wichtige Anhaltspunkte, welches Krüger im Jahre 1894 anlegte, und welches stets neben die Angabe der Farbe den spektroskopischen Befund stellt. Um die Farbenbestimmung möglichst übersichtlich zu machen, wurde die von H. J. Klein eingeführte und auch von J. Schmidt vielfach angewandte Zahlenskala angenommen. Sehr eingehend hat auch das Potsdamer Institut mit seinem zu Spektralbeobachtungen aptierten Refraktor, dem Spektrographen, die Sternspektren untersucht, und wir erfahren von J. Scheiner, daß sich dabei, unter dem Mikroskope gesehen, die absolute Übereinstimmung der Spektren der Sonne und einzelner Fixsterne geradezu aufgedrängt hat. Besonders α Aurigae ist in diesem Falle. Auch sonst lieferte die Potsdamer Vergleichung sehr viele neue Einblicke in die Natur der Fixsterne, und als Fingerzeig für spätere Forscher ist die Wahrnehmung anzusehen, daß das einzelne Spektrum streng individuell aufgefaßt werden muß, und daß der Nachweis von Linien-Identitäten nur einem äußerst feinen Messungsverfahren gelingt. Wir werden weiter unten auf die hochwichtige Arbeit nochmals zurückkommen.

Eine Spezialuntersuchung Vogels über das Spektrum des veränderlichen Sternes β Lyrae lehrte, daß die Helligkeitsschwankungen der leuchtenden Linien in jenem nicht so unmittelbar von den Lichtschwankungen des Sternes abhingen, wie man dies wohl hätte erwarten sollen. Einen neuen Sterntypus wollten 1867 C. Wolf und Rayet in Einzelfällen konstatiert haben, und 1894 hat Campbell 55 dieser Kategorie zuzurechnende Sterne der Untersuchung unterworfen, ohne eine bleibende Ähnlichkeit des durch einzelne helle Linien auf kontinuierlichem Grunde charakterisierten Spektrums mit anderen Spektren erkennen zu können. Eine wichtige Entdeckung gelang Vogel zwei Jahre später. Schon vor geraumer Zeit war einigen Beobachtern eine nicht näher bestimm-

bare Linie in solchen Sternspektren aufgefallen, deren Wasserstofflinien besonders hell erscheinen, und nun zeigte sich, daß erstere das Vorhandensein jenes Elementes Helium signalisierte, welches man terrestrisch, wie früher angegeben, als Cleveïtgas kannte. Das letztere bildet einen regelmäßigen Bestandteil der dem Oriontypus beizuzählenden Sterne, aber nicht nur dieser, sondern noch einer ganzen Anzahl anderweiter Fixsterne, die übrigens sämtlich dem ersten Typus von Secchi-Vogel angehören. Im Anschlusse daran führte der Meister der Spektralanalyse eine neue, früher nicht möglich gewesene Detailklassifikation eben dieser Klasse durch. Die neueste Bearbeitung der bereits mit so viel Mühe und Umsicht geförderten Aufgabe rührt von einer anderen gelehrten amerikanischen Dame, Miß A. C. Maury, her, welche nicht weniger als 4800 Aufnahmen von 681 Fixsternen, insgesamt auf der Sternwarte des Harvard-College zu stande gekommen, seit 1897 auf das Hervortreten oder Fehlen gewisser Linien prüfte und auf Grund der Heraushebung von vier selbständigen Linientypen — Orionlinien, Wasserstofflinien, Sonnenlinien (wesentlich metallisch) und Calciumlinien — 22 Klassen konstruierte, die sich dann wieder nach den vorhandenen Typen, deren die Verfasserin 5 anerkennt, zusammenfassen lassen. Wilsings Entdeckung (1899), daß ein Doppelspektrum keineswegs unumgänglich einen Doppelstern anzeige, sondern auch von einfachen Sternen dann hervorgebracht werden könne, wenn deren selbst leuchtender Kern von einer ebenmäßig intensiv leuchtenden Hülle umgeben ist, indem sich dann ein helles Linienspektrum über das Absorptionsspektrum des Kernes legt, konnte von T. E. Espin bestätigt werden.

Die Photographie hat sich bei den meisten Untersuchungen über Fixsternlicht als eine sehr leistungsfähige Gehilfin erwiesen. Im Jahre 1887 tagte zu Paris ein astrophotographischer Kongreß, der den Beschluß faßte, einen bis zur 11. Größe hinaufreichenden Sternkatalog auf einem neuen Wege, nämlich durch Ausmessung der Positionen auf der photographischen Platte, herstellen zu lassen, wobei das von den Gebrüdern Henry ausgeführte Aufnahmeinstrument ausschließliche Verwen-

dung finden sollte. Da das Öffnen und Schließen der Klappe stets mit Erschütterungen verbunden ist, die meist auch eine Verzerrung des photographischen Bildes nach sich ziehen, so wurde von Scheiner am Potsdamer photographischen Refraktor eine automatisch und sicher wirkende Arretierungsvorrichtung aus dem Hamburger Atelier von Repsold angebracht und damit auch die Expositionsdauer ganz ungemein — bis auf $^1/_{2000}$ Sekunde — verkürzt. Natürlich bedurfte es auch besonderer Korrektionen, um die möglichste Vereinigung der gebrochenen Strahlen zu erwirken und um die lichtempfindliche Silberlösung recht gleichmäßig über der Platte zu verbreiten, weil, wenn sich dieser Überzug in ein Körneraggregat verwandelt, das einzelne Korn, und hätte es nur $^1/_{1000}$ Mikrometer Durchmesser, ein gewaltiges Areal zudeckt. Daß man solchergestalt zu wirklich sehr genauen Ortsbestimmungen gelangen kann, bewies H. A. Jacobys Nachmessung des von Rutherfurd angefertigten Photogrammes der Plejadensterne. Welche Vorteile die spektrographischen Bestimmungen der Potsdamer Warte auch in physikalischer Hinsicht gewährten, wurde bereits erwähnt. Auch für die Photometrie wußte G. M. Minchin die Lichtbilder nutzbar zu machen, indem er das Sternenlicht auf das anerkannt lichtempfindliche Selen einwirken ließ und die entstehenden thermoelektrischen Ströme maß. Das Jahr 1897 brachte einen hoch zu schätzenden didaktisch-systematischen Fortschritt durch die Herausgabe des zu Leipzig erschienenen Scheinerschen Lehrbuches „Die Photographie der Gestirne“, aus dem wir, um den Wert der Methode an einem recht augenfälligen Exempel klarzustellen, nur den einzigen Umstand hervorheben wollen, daß die Platte eine exakte Positionsbestimmung von 500, in einem Sternhaufen des Sternbildes Herkules vereinigten Sternchen möglich machte, die zusammen nur den 64. Teil des von der Mondscheibe eingenommenen Flächenraumes bedecken. In großem Stile hat der leider vorzeitig aus gesegneter Thätigkeit abgerufene Gould die Ausmessung der am Südhimmel erkennbaren Sternhaufen betrieben; von 1200 Platten, die im Laufe von zehn Jahren unter seiner geschickten Hand entstanden, erwiesen sich 1194 als vollständig brauchbar, wennschon begreiflicherweise die erst später be-

kannt gegebenen Daten nicht mehr in allen Stücken jenen hohen Anforderungen an Genauigkeit entsprechen können, welche die Präzisionsarbeit der folgenden drei Lustren als erreichbar nachwies. Gerade recht zur Signalisierung des um die Jahrhundertwende erreichten hohen Standpunktes kam W. H. M. Christies Vergleichung der Zahlen der eine Zone von 6° Deklinationsbreite erfüllenden Fixsterne, wie sie sich einerseits bei der uns bekannten Bonner Durchmusterung der fünfziger Jahre und andererseits bei der photographischen Abbildung der betreffenden Fläche gefunden hatten. Im ersteren Falle waren 9971, im zweiten 58170 Sterne fixiert worden, und auf den sphärischen Quadratgrad entfielen jeweils etwa 6 und 70 Sterne. Das die geschichtliche Stellung der Astronomie bald nach 1800 kennzeichnende, auf Fraunhofer angewandte Wort ist zweifellos in noch weit höherem Maße zur Devise der im Zeitalter der Astrophotographie stehenden Wissenschaft um 1900 geworden: Die Sterne wurden uns näher gebracht.

Das gilt ganz besonders auch für die doppelten und mehrfachen Sterne. Dieselben besitzen, da sie ja Teile eines sich wechselseitig anziehenden Sternsystemes sind, eine ausgesprochene Eigenbewegung, und zu deren Messung hat man ganz vorzügliche Methoden, die aber für jenen Zeitabschnitt versagen, in dem die Berührungslinie der Bahnkurve angenähert durch das Auge des Beobachters geht. Wir haben jedoch erfahren, daß das Dopplersche Prinzip, spektroskopisch interpretiert, ein durch nichts Anderes zu ersetzendes Hilfsmittel gerade für die Ermittlung der Bewegungsverhältnisse im Visionsradius an die Hand giebt. Eine solche Bestimmung hat A. Belopolsky (1893) für den einen der beiden Sterne von ξ Herculis vorgenommen. Das Sonnensystem wird, weil ja die Entfernung Erde-Sonne den Fixsterndistanzen gegenüber verschwindend klein ist, als Punkt betrachtet, und da ergab sich, daß genannter Stern sich in der Stunde um etwa 9 geogr. Meilen von jenem Punkte entfernte. Nicht bloß die Spektralanalyse im engeren Sinne, sondern auch die Spektrophotographie, die ja die stattfindenden Ablenkungen der Streifen aus ihrer normalen Richtung dauernd festzuhalten erlaubt, mußte hierbei mit-

wirken, und Belopolsky konnte (1896) auf diese Weise — durch Bestimmung der zwischen zwei gleichsinnigen Verzerrungen verstreichenden Zeit — die Umlaufsdauer für die eine Komponente des Doppelsternes α Geminorum ermitteln. Der gleiche Autor hat in neuester Zeit seine Methode auch bei γ Virginis und γ Leonis zur Anwendung gebracht. Der hellste Stern der Zwillinge hat auch die Aufmerksamkeit der Astronomen von Cambridge (England) auf sich gelenkt, und aus der Kombinierung ihrer Beobachtungen mit denjenigen Belopolskys folgt, daß der eine der beiden Sterne, in welche Kastor zerfällt, einen ungefähr 1000 Jahre zu einem Umlaufe benötigenden und selbst wieder von einem Trabanten begleiteten Gefährten besitzt. Auch der periodische Lichtwechsel eines Sternes kann, wie der russische Astronom aus den Pulkovaer Spektralmessungen folgert, in der Weise erklärt werden, daß zu verschiedenen Zeiten verschieden große Bewegungskomponenten mit der Gesichtslinie zusammenfallen.

Auch für die Erforschung der Nebelmassen des Himmels hat die Astrophysik mit Eifer gesorgt. Seitdem der im November 1876 von J. Schmidt in Athen entdeckte neue Stern im Schwan binnen 13 Jahren von der dritten zur sechzehnten Größe herabgesunken und während dieser Zeit Veränderungen durchgemacht hat, die sein ursprünglich kanneliertes in ein kaum mehr wahrnehmbares kontinuierliches Spektrum übergehen ließen, während er dazwischen auch äußerlich an einen planetarischen Nebel erinnerte, bildete sich, wie besonders Pickering wollte, die Überzeugung aus: Eine ganz feste Grenzlinie zwischen Sternen und Nebeln läßt sich nicht ziehen. Es giebt gasförmige Sterne mit einem ausschließend aus hellen Linien zusammengesetzten Spektrum und planetarische Nebel, deren Lichtzerlegung ein nahe übereinstimmendes Resultat ergiebt, und die, um A. Clerkes sinnreiche Worte wiederzugeben, die Mitte jener sehr langen Reihe verschiedener astraler Zustände einnehmen, an deren beiden Enden der dem Verglühen nahe Sirius und das matt leuchtende Nebelaggregat um das Trapez des Orion ihren Platz zu erhalten haben. Hierher gehört auch die sehr merkwürdige Entdeckung der Nova Andromedae, welche im August 1885 von J. W. Ward zu

Belfast, L. Gully zu Rouen und E. Hartwig auf der Bamberger Sternwarte gemacht, aber nur von diesem letzteren verfolgt und in ihrer wissenschaftlichen Bedeutung richtig gewürdigt wurde. Der neue Ankömmling stand exzentrisch im Andromeda-Nebel und wuchs von der neunten rasch zur siebenten Größe empor, um dann bald wieder zu verblassen. Das Spektrum erschien anfänglich kontinuierlich, aber R. Copeland (geb. 1837; mit Boergen Astronom der „Germania“-Expedition von 1869) vermochte durch eine besondere Wahl des brechenden Winkels seines Prismas drei helle Banden der Lage nach genau zu bestimmen. Man hätte nun freilich meinen können, der neue Stern habe von Hause aus gar nichts mit dem Nebel zu thun, in den er rein optisch, durch die von unserem Auge bewirkte Projektion auf die Himmelskugel, geraten wäre, allein bald überzeugte man sich, indem man namentlich Präzedenz- und Analogiefälle auffand, daß beide auch räumlich zusammengehörten, und daß da mithin ein sehr interessanter Beleg für die Herausbildung eines wirklichen Sternes aus einer Nebelmasse vorlag. Der viel besprochenen Nova der Andromeda ward 1892 von Th. D. Anderson eine Kollegin in der Nova Aurigae zur Seite gestellt, die auf einer kurz zuvor von M. Wolf aufgenommenen Photographie fraglicher Himmelsstelle noch nicht enthalten und also doch wohl in ganz kurzer Zeit bis zur fünften Größe emporgewachsen war. Und Lichtschwäche konnte gewiß nicht an diesem negativen Erfolge des photographischen Verfahrens die Schuld tragen, denn durch dieses hatte der Heidelberger Astrophysiker im vorhergehenden Jahre einen großen, bisher unbekannten Nebel mit dem Sterne ζ Orionis als Mittelpunkt entdeckt, einen gewaltigen Wirbelnebel, zu dessen Fixierung allerdings eine $5^1/_2$ stündige Exposition erforderlich gewesen war.

Die sogenannten planetarischen Nebel, die von ihm zur Klasse der Ringnebel gerechnet werden, konnte Scheiner mit Hilfe des Photogrammes, das auch an lichtschwächeren Objekten ziemlich viele Einzelheiten hervortreten ließ, schärfer analysieren. Ein helles Zentrum in Gestalt eines Sternes ist fast stets vorhanden, und selbst dann gilt diese Mittelpunktseigenschaft, wenn der zentrale Stern zu schwach leuchtet, um im Fernrohre gesehen

zu werden; die Platte bewahrt sein Bild gleichwohl auf. Wahrscheinlich sind diese Zentren allerdings keine echten Sterne, so wie etwa unsere Sonne einen solchen darstellt, sondern es sind nebelhafte Verdichtungen von unregelmäßiger Form; es strahlen nämlich vom Lichtzentrum zungenförmige Strahlen aus, die gelegentlich auch den Kern mit einem sich um diesen herumlegenden Ringe verbinden. Da nun dieses Licht fast nur violette und ultraviolette Strahlen enthält, so liegt die Vermutung nahe, die diese Strahlengattung aussendende Masse sei in der Mitte des Nebels mehr als in den übrigen Teilen konzentriert. Die nicht selten beobachteten raschen Änderungen in Aussehen und Lichtstärke des Kernes sind dann, wenn demselben jedwede Solidität gebricht, sehr leicht verständlich. Auch das Spektrum des neuen Sternes im Fuhrmann, von dem oben die Rede war, hat eine gewisse Ähnlichkeit mit demjenigen eines Gasnebels.

Die Notwendigkeit, die ältere Einteilung der Nebelflecke in Klassen, wie sie aus den Beobachtungen am Spiegelteleskope der beiden Herschel hervorgegangen war, durch eine zeitgemäßere zu ersetzen, hat J. Roberts 1894 lebhaft betont. Ebenderselbe hat eine Reihe neuer Spiralnebel, wie sie, nebenbei bemerkt, schon in den siebziger Jahren R. G. L. Planté (1834—1889) täuschend im Experimente nachzubilden lehrte, zu den bisherigen hinzu entdeckt und deren nahe verwandtschaftliche Beziehungen zu den gewöhnlichen Nebelringen wohl außer Zweifel gesetzt. Von dem berühmten Orion-Nebel hat Riccò in Catania nach $4^1/_2$ stündiger Expositionsdauer treffliche photographische Bilder erhalten, welche die Überlegenheit derselben über die best gezeichneten Zeichnungen klar hervortreten lassen. Vor allem ist man in die Lage versetzt, über allfalsige Veränderungen in der Gestalt des Nebels ein triftigeres Urteil gewinnen zu können, als dies auf Grund der unter allen Umständen subjektiv beeinflußten Zeichnungen angängig ist, und so konnte gerade beim Orion-Nebel Pickering 1896 beim Vergleiche mit älteren Aufnahmen feststellen, daß keine irgend nennenswerte Veränderung des Aspektes platzgegriffen hatte. Einen physischen Zusammenhang des Nebels mit den in ihm sichtbaren Sternen erachtet der amerikanische Astrophysiker

für höchst wahrscheinlich. Dies gilt namentlich für die den Südhimmel schmückenden Magellanischen Wolken, in denen die Photographie so viele Sterne nachgewiesen hat, daß sie Pickering als weit entfernte Milchstraßensysteme bezeichnen konnte.

Die von je her gehegte Ansicht, daß es zerlegbare und nicht zerlegbare, d. h. eigentliche Nebel giebt, muß auch jetzt noch aufrecht erhalten werden. Ganz gewiß sind aber auch diese letzteren, dem Spektrum und den durch das Lichtbild vergleichbar gemachten morphographischen Indizien nach zu schließen, keineswegs alle im gleichen Entwicklungszustande. So befindet sich der Andromeda-Nebel, der ja auch durch seine Nova schon sozusagen ein gewisses Eigenleben bekundete, den spektroskopischen Beobachtungen Scheiners zufolge in einem vorgeschritteneren Stadium; er ähnelt den Spiralnebeln, und da von dieser Klasse schon viele dem Schicksale des Zerlegtwerdens anheimgefallen sind, so wird sich auch das genannte Objekt in seinen gewundenen Schichten wahrscheinlich noch als ein Analogon der Milchstraße entpuppen, wie ja auch Easton bereits diese letztere, ihrer Öffnungen und Verzweigungen halber, als ein System von Spiralnebeln aufzufassen riet. Wie verschieden jedoch auch die Nebelflecke im Hinblicke auf ihre innere Struktur auch sein mögen — in einem Punkte vereinigt sie eine gemeinsame Eigenschaft: Eine ungeheure Entfernung von unserem Sonnensysteme. Denn Wilsing hat überhaupt keine Spur einer Nebelparallaxe aufzudecken vermocht, und Pickering, der sich nicht ganz so skeptisch verhält, veranschlagt immerhin die mittlere Distanz des Orion-Nebels auf eine Größe, deren zeitliches Äquivalent durch 1000 Lichtjahre gegeben wäre!

Wie man sieht, hat die junge Disziplin der Astrophysik es doch bereits zu sehr achtunggebietenden Erfolgen gebracht. So hat sie denn auch mit Fug ein eigenes Organ erhalten, welches wenigstens den Forschern britischer Abkunft als geistiger Sammelplatz dient, die Zeitschrift „Astronomy and Astrophysics“. In Frankreich ist „Ciel et Terre“ wesentlich auch diesem Wissenszweige zugewandt, und nicht minder findet derselbe stattliche Vertretung in der von W. Meyer zu Berlin herausgegebenen, den

gleichen Titel „Himmel und Erde“ führenden deutschen Monatsschrift. Auf dem Laufenden kann sich über die Vielzahl astrophysikalischer Errungenschaften der deutsche Leser dann halten, wenn er H. J. Kleins nach größter Vollständigkeit strebendes „Jahrbuch der Astronomie und Geophysik“ nachliest, von dem zur Zeit zehn Jahrgänge vorliegen, und das die Astronomie eben vorzugsweise unter dem physikalisch-topographischen Gesichtspunkte behandelt. Unseren jungen Generationen aber hat, damit sie überhaupt auf dem in den Lehrbüchern der Sternkunde noch nicht immer hinreichend berücksichtigten Gebiete heimisch werden können, W. Wislicenus ein sehr handliches und bequem zu studierendes Lernmittel übermittelt, welches einen Bestandteil der wohlbekannten Goeschenschen Sammlung (Leipzig 1900) bildet.

Wir haben zugesagt, anhangsweise in diesem Abschnitte auf die Anschauungen zu sprechen kommen zu wollen, welche sich die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts, unter dem Eindrucke so vieler neuer, durch die vervollkommneten Beobachtungsmittel ermöglichter Ergebnisse, von den — kurz gesprochen — kosmogonischen Vorgängen erworben hat. Zu dem Ende wird sich eine Rückschau verlohnen.

Die Nebularhypothese von Laplace, welche dieser große Denker der vielfach recht ungenügenden, wenngleich ihres Urhebers durchaus nicht unwürdigen Kosmogonie Kants substituiert hatte, befriedigte in der ersten Hälfte des Jahrhunderts die nicht allzu große Zahl Derer, welche sich überhaupt für solche etwas transszendentale Gedankenarbeit interessierten, so ausgiebig, daß es nur ausnahmsweise zu Reformversuchen kam. Die geistvoll erdachten Experimente mit einem Öltropfen, der in einer Flüssigkeit von gleichem spezifischen Gewichte zuerst in die Kugelform gebracht, hierauf in Umdrehung versetzt und zur Abschleuderung von Ringen und Satelliten veranlaßt ward, schienen den Ansichten Laplaces zur willkommensten Stütze zu dienen, und J. A. F. Plateau (1801—1883), der leider infolge seiner optischen Studien die letzten vierzig Lebensjahre in Erblindung zubringen mußte, hatte durch seine geistreichen Experimente für die Doktrin, nach welcher unser Sonnensystem die fortschreitende Differentiierung eines ungeheuren

Gasballes darstellen sollte, die wirksamste Propaganda gemacht. Nähere Prüfung mußte ja darüber aufklären, daß die Bedingungen der Plateauschen Versuche grundverschieden von denen sind, unter welchen nach Laplace die beiden allein thätigen Agentien, Schwer- und Zentrifugalkraft, gewirkt haben sollten, aber der Umstand, daß man im Vorlesungssaale einen täuschend ähnlichen Einblick in den Werdegang des Planetensystemes erzielt zu haben vermeinte, half über diese Bedenken leicht hinweg. Noch in den siebziger und achtziger Jahren haben sich gewiegte Sachkenner, wie C. Wolf, Ginzel und Ennis, durchaus anerkennend über die Laplacesche Hypothese vernehmen lassen, ohne die mancherlei schwachen Stellen derselben, die aber doch verbesserungsfähig erschienen, totzuschweigen. Eine ernste Gefahr drohte derselben erst von dem Zeitpunkte an, da Newcomb für die Uranustrabanten, Tisserand und H. Struve für den Neptunmond, wie dies vorher angedeutet ward, den Nachweis erbrachten, daß der Sinn, in dem diese Nebenplaneten um ihren Hauptplaneten kreisen, nicht mit dem sonst allenthalben im Sonnensysteme herrschenden Bewegungssinne übereinstimmt. Man hat diesem Bedenken auf verschiedene Weisen abzuhelfen gesucht, und es war insbesondere der ausgezeichnete Geophysiker G. H. Darwin (geb. 1845; des großen Ch. Darwin in seiner Art nicht minder bedeutender Sohn), welcher in der durch die Sonne auf den noch weichen Planetenmassen bewirkten Flutreibung eine Ursache dafür suchte, daß sich im Bereiche der äußeren Planeten, wo naturgemäß die fluterregende Anziehung des Zentralkörpers sich minder energisch zu bethätigeu vermochte, die Rotationsverhältnisse ganz anders als in der näher an der Sonne befindlichen Einflußsphäre gestalten müssen. Ohne auf das Zwischenstadium der Ringbildung einzugehen, welches bei Laplace und Plateau noch als ein nicht zu umgehendes erscheint, mußte man die Herausbildung der Planeten aus der Urgaskugel von dem Zeitpunkte an zu erklären suchen, da man inne geworden war, daß das, was man Saturnring nennt, diese Bezeichnung, wie oben erörtert wurde, gar nicht verdient. Daß dies aber auch thunlich ist, bewies A. G. D. Ritter (geb. 1826) in einer nach den verschiedensten Seiten hin neue Wege eröffnenden Abhandlung, auf die uns einer

der folgenden Abschnitte wieder zurückführen wird. Er zeigte, daß ein Gasball von der inneren Beschaffenheit, wie man sich den primordialen vorzustellen gezwungen ist, keineswegs an sich in stetem Gleichgewichte verbleibt; es findet vielmehr eine unaufhörliche Pulsationsbewegung, ein Wechselspiel von Kontraktion und Ausdehnung, statt, und daß damit eine äquatoriale Lostrennung von Ringen, die aber als solche nicht bestehen können, sondern sich in kleine Kugeln auflösen müssen, verbunden ist, wird zugestanden werden müssen.

Hierdurch wäre auch eine andere Schwierigkeit beseitigt, darin bestehend, daß dem Urgasballe eine selbständige Achsendrehung verliehen sein muß; wäre eine solche nicht vorhanden, so wäre auch nicht abzusehen, weshalb die Planeten und Monde, die sich folgeweise aus den mütterlichen Gaskugeln loslösten, sämtlich mit gleichsinniger Rotation hätten begabt sein sollen. Man mußte also trachten, diese ursprüngliche Drehbewegung angemessen zu erklären, und unter den mancherlei hierauf abzielenden Versuchen sind besonders diejenigen von P. K. Braun und Faye beachtenswert. Ersterer ist im übrigen ein Anhänger der Laplaceschen Lehre, von der er nur das Ringstadium in Abrede stellt, und nimmt an, es habe am Anfange aller Dinge eine ganze Anzahl von Gasbällen gegeben, denen infolge der gegenseitigen Anziehung auch translatorische Bewegung eigen gewesen sei. Indem dann zwei solche Bälle auf ihrer Bahn in exzentrischem Stoße aneinander gerieten, wurden Drehbewegungen ausgelöst. Auch die Spiralnebel sollen Beispiele solcher Bewegung abgeben. Die Abtrennung der Planeten von der immer kleiner werdenden Zentralmasse und der Monde von den Planeten denkt sich Braun als die Folge der Herausbildung lokaler Kondensationszentren, die eine selbständige Bewegung der in ihrer Nachbarschaft befindlichen Teilchen einleiten würden. Faye seinerseits geht wieder mehr auf die Kantsche Grundanschauung zurück und setzt im Weltraume eine ungeheure Anzahl kosmischer Partikeln als chaotisch gemengt und sich wechselsweise mechanisch wie chemisch anziehend voraus. In diesem Momente weicht die Fayesche Hypothese von der rein atomistischen ab, die zumeist den Ausgangspunkt zu bilden pflegt

und von einer ursprünglichen chemischen Verschiedenheit der Korpuskeln nichts wissen will. In der That wird aber auch gar nichts geändert, wenn man den Weltenbaustoff sich homogen und chemisch unterschiedslos, in Form des einatomigen Gases, angeordnet vorstellt. Indem nun die einzelnen Teilchen aufeinander stoßen, kommen gleichzeitig progressive und gyratorische Bewegungen zustande, und indem stets eine Anzahl örtlicher Anziehungszentren, die sich so gebildet haben, weitere Sammelpunkte bilden, krystallisieren sich sozusagen die einzelnen Weltkörper aus dem Chaos heraus. Durch Betrachtungen, welche einigermaßen an diejenigen G. H. Darwins gemahnen, glaubt dann Faye die Notwendigkeit der Entstehung zweier hinsichtlich des Drehsinnes verschieden gearteter Räume um den Zentralkörper herum erweisen zu können; für das Sonnensystem läge die Grenzfläche zwischen den Bahnen von Saturn und Uranus, und diesseits derselben mußte sich nach und nach der nämliche Sinn für sämtliche Partialrotationen einstellen, während jenseits die rotatorische Anarchie, welche ursprünglich überhaupt herrschte, fortbestände. Man wird zugeben müssen, daß Fayes Buch, welches der im hohen Greisenalter stehende Autor im Jahre 1896 herausgab, einen Markstein in der Entwicklung der kosmischen Ansichten abgiebt, und daß sich alle sonstigen Systeme, deren uns die neuere Zeit ziemlich viele, und darunter recht scharfsinnig erdachte, gebracht hat, mit demjenigen des französischen Astronomen auseinandersetzen müssen. Jedenfalls haben alle diejenigen Auffassungen der Weltenbildung, welche an Laplace anknüpfen, bei den Fachmännern, soweit diese jeder kosmogonischen Spekulation nicht grundsätzlich abweisend gegenüberstehen, viel mehr Anklang gefunden, als etwa Lockyers Meteoritenhypothese, nach welcher, wie sich dies schon in den dreißiger Jahren der phantasievolle Gruithuisen zurechtgelegt hatte, jeder Köper des Sonnensystemes das Resultat des Aufeinanderplatzens und Aneinanderhaftens zahlloser kleiner Weltkörper sein soll.

Wenn wir, ohne uns im einzelnen einer bestimmten Richtung anzuschließen, bloß generell daran festhalten, daß jeder einzelne Himmelskörper ursprünglich eine sphärische Gasmasse

im Zustande alleräußerster Dissolution gewesen ist, so können wir uns auch weiter ein Bild zu machen suchen von der Art und Weise, wie der Verdichtungsprozeß fortschritt, und wie im Laufe ungeheurer Zeiträume alle die verschiedenen Zustände sich herausbildeten, welche uns die moderne Astrophysik als im kosmischen Raume vertreten vorführt. Jene Nebel mit monotonem Spektrum, welche weder durch das Fernrohr noch durch die sonstigen Zerlegungsmittel in Sternhaufen aufgelöst werden können, erscheinen uns als treue Bilder dessen, was dereinst einmal auch unser Sonnensystem gewesen ist, als insulare Ansammlungen von Weltenbaustoff, innerhalb deren noch keinerlei Kondensation bemerklich wurde. Die planetarischen Nebel mit heller leuchtendem Kerne sind dann als eine erste Etappe auf dem Wege zur Herausbildung von Sonnensystemen anzusehen und wenn wir hierauf die Entwicklungsgeschichte der Weltkörper in der Weise weiter verfolgen, wie es von Zoellner und Secchi in den Grundzügen festgestellt, von H. C. Vogel aber grundsätzlich gebilligt worden ist, so können wir es aussprechen: In den verschiedenen Typen oder Spektralklassen der Fixsterne kommt deren verschiedenes Lebensalter zum Ausdrucke. Was dem ersten und zweiten Typus von Secchi-Vogel zugehört, entspricht einem Fixsterne, aber die Sterne erster Art sind wesentlich noch glühende Gasmassen, bei denen allerdings eine gewisse Scheidung der zentralen und peripherischen Massen nach dem Aggregatzustande eingetreten ist, wogegen diese Trennung bei den Sternen der zweiten Art, zu denen unsere Sonne gehört, schon eine bestimmtere geworden ist; ein sehr ausgedehnter Kernkörper hat bereits eine gewisse Verfestigung erfahren, wird aber von einer ebenfalls massigen Außenschicht leuchtender Gase und Dämpfe umschlossen. Die meist rötlichen Sterne des dritten und vierten Typus — Vogels Klasse IIIa und IIIb — scheinen bereits auf eine beginnende Verfestigung auch an der Oberfläche hinzuweisen. Man hat vielfach zu dieser Gruppe auch die veränderlichen und die neuen Sterne gestellt, indem man daran dachte, daß namentlich bei diesen letzteren die schon gebildeten starren Hüllen gelegentlich wieder zerreißen und die nun des Druckes entledigten Gasmassen explosiv nach

außen streben möchten. Thatsächlich hat das Spektrum der neuen Sterne Ähnlichkeit mit demjenigen gewisser solarer Protuberanzen, die wir als Eruptionen glühenden Wasserstoffgases anzusprechen geneigt waren, und daß die Verdichtung von außen nach innen, und nicht etwa umgekehrt, fortschreitet, hat die Geophysik, wie wir seiner Zeit sehen werden, zur Gewißheit erhoben. Schon weiter gediehen ist der Vorgang, dem schließlich alle Weltkörper unterliegen müssen, bei den Planeten; doch ist sowohl nach den spektroskopischen Wahrnehmungen, wie auch nach dem, was die Himmelsmechanik für die Dichteverteilung in den Massen unseres Sonnensystemes festgestellt hat, für wahrscheinlich zu erachten, daß die äußeren Planeten, abgesehen von dem das Schicksal der Erde teilenden Mars, sich überwiegend noch in halb- oder ganzflüssigem Zustande befinden, während sie, wie die Wasserdampfbanden ihres Spektrums auswiesen, von einer dichten Atmosphäre umschlossen sind. Betreffs der vier Planeten Mars, Erde, Venus und Merkur mögen wir uns vorstellen, daß sie im Inneren zwar auch noch alle Aggregatzustände bergen, deren die Materie überhaupt fähig ist, daß aber diese zentraleren Partien durch eine ziemlich dicke, starre Kruste dem unmittelbaren Verkehre mit dem Außenraume entzogen sind. Der sehr kleine Mond endlich, der Luft und Wasser nicht oder mutmaßlich nicht mehr besitzt, indem diese Stoffe bei der stetigen Erkaltung der auch einmal feurig-flüssigen Masse aufgesogen wurden, ist vielleicht schon durch und durch fest geworden, „eine ausgebrannte Schlacke“. Es wird dieser Versuch, zwischen den fernsten Nebelmassen, von denen das Licht erst in Jahrhunderten oder Jahrtausenden zu uns herabgelangt, und den uns nächst stehenden Gestirnen eine stetige Entwicklungsreihe als Bindeglied herzustellen, wenigstens als ein konsequenter anerkannt werden müssen. Nur die Frage der veränderlichen und der ihnen zweifellos auf der genetischen Stufenleiter nahe stehenden neuen Sterne bedarf, wie erwähnt, noch weiterer Klärung. Die Schriften, in denen 1883 von E. Leyst in Pawlowsk, dem jetzigen Direktor des geophysikalischen Observatoriums zu Moskau, und 1888 von J. Plaßmann die Summe unseres Wissens von diesen astronomischen Objekten übersichtlich zusammengefaßt wurde, sind natürlich

durch die ziemlich zahlreichen Arbeiten der folgenden Jahre schon wieder teilweise überholt worden, denn nirgendwo sonst ist die Gefahr raschen Veraltens für ein litterarisches Erzeugnis eine so große, wie gerade auf astrophysikalischem Gebiete.

Schon die ältere Zeit hatte als einleuchtendste Hypothese für die Erklärung der periodisch veränderlichen, d. h. dem Algoltypus einzuordnenden Sterne diejenige betrachtet, welche den Umlauf eines dunklen Begleiters um den hellen Hauptstern als Ursache des Lichtwechsels gelten läßt. Neuerdings ist auch von Pickering und Vogel diese Deutung des Herganges angenommen worden, und gar manche Gründe wirken zur Unterstützung dieser Anschauung zusammen. H. Bruns (geb. 1848) hat dagegen auf mathematischem Wege dargethan, daß regelmäßiges An- und Abschwellen der Lichtintensität auch zu erklären ist, wenn man annimmt, daß ein mit dunklen Flecken an der Oberfläche behafteter, heller Stern sich gleichmäßig um seine Achse dreht. Klinkerfues stellte sich auf einen ganz anderen Standpunkt; ihm zufolge sind die beiden nur wenig distanten Sterne, welche ein Doppelsystem bilden, von Atmosphären umgeben, in denen das Licht stark absorbiert wird, und indem der eine der beiden Sterne auf die bewegliche Hülle des anderen attraktiv wirkt, kommt eine lebhafte Ebbe- und Flutbewegung in jenen Atmosphären zustande, welche dem Lichte den Durchgang bald verstattet, bald wieder wehrt. Da Schiaparelli im Jahre 1882 Sternpaare von überaus schneller Umlaufsbewegung um ihren Massenmittelpunkt entdeckt hat, ist die Hypothese der atmosphärischen Gezeiten immerhin der Beachtung wert. Solche veränderliche Sterne freilich, in deren Lichtschwankungen gar keine oder doch nicht eine mit strenger Periodizität verträgliche Gesetzmäßigkeit zu Tage tritt, werden sich den soeben besprochenen Erklärungen nicht unterordnen lassen, und da hat man wohl ein Recht, mit E. Loomis (1811—1889) an eine regellos sich ändernde Bedeckung der leuchtenden Sternphotosphäre mit erkaltenden und deshalb für Lichtemission untauglich gewordenen Massen zu denken. Übrigens hat 1893 Dunér, indem er den variablen Stern η Cygni untersuchte, sein ausdrückliches Einverständnis mit Vogels Theorie des Lichtwechsels von Algol-

Sternen kundgegeben, nebenher aber auch dieselbe ausgedehnt auf solche Sterne, welche eine doppelte Periode besitzen und je ein ausgesprochenes Maximum-Minimum auf ein minder ausgeprägtes Maximum-Minimum folgen lassen. So erklärt denn auch Pickering das stärkere Minimum dadurch, daß der hellere Stern durch den schwächeren bedeckt wird, und das zweite dadurch, daß der hellere vor den schwächeren tritt, während ein Maximum sich ergiebt, wenn die beiden — nur spektroskopisch, nicht aber optisch teilbaren — Sterne nebeneinander stehen, ohne sich gegenseitig ihr Licht zu verkümmern. Einen neuen, bis jetzt isoliert an ein einziges Exemplar gebannten Typus entdeckten im Jahre 1899 G. Müller und Kempf in Potsdam. Die Dauer des ganzen Lichtwechsels scheint $7^2/_3$ Jahre zu betragen, wovon aber nur $1^2/_3$ auf die Lichtzunahme, 6 auf die Lichtabnahme entfallen. Ähnlich verhält es sich bei u Vulpeculae, über die O. C. Wendell ziemlich gleichzeitig berichtete, aber da der Gegensatz nicht annähernd das gleiche Verhältnis beobachtet, und da zudem die Lichtperiode außerordentlich kurz ist, so wird sich dieser Fall leichter einem schon bekannten Falle assimilieren lassen.

Für die merkwürdige Nova im Sternbilde des Fuhrmannes haben Vogels und Pickerings spektroskopische Untersuchungen die Wahrscheinlichkeit ergeben, daß zwei Körper diesen Stern zusammensetzen, die sich beide längs der Gesichtslinie lebhaft bewegen. Nur so werde es verständlich, daß das Spektrum als eine Übereinanderlagerung zweier Spektren mit noch dazu helleren und dunkleren Wasserstofflinien auftritt, welch letztere stark gegen einander verschoben sind. Eine andere Theorie hat Seeliger (1892) aufgestellt, teils auf eigene photometrische Messungen, teils auf M. Wolfs und Anderer photographische Bilder sich stützend. Er nimmt an, daß allüberall im Interstellarraume kosmische Wolken von außerordentlich dünnem Gefüge, echte und rechte Nebel, schweben, in die ein massiverer Körper nicht eintreten kann, ohne sofort intensiv erhitzt zu werden, so wie dies ja auch den Sternschnuppen beim Passieren unserer Erdatmosphäre begegnet. Auf diese Weise — durch Kontakt eines bewegten Sternkörpers mit einem widerstehenden Mittel — wären das rasche Aufflammen, die

zumeist ebenfalls rasche Verminderung des Lichtes und endlich auch die Superposition der Spektren, deren eines dem anscheinend neuen Sterne, deren zweites der kosmischen Wolke angehören würde, leicht zu begreifen.

Hiermit wollen wir unsere Durchmusterung der im Bereiche der Kosmogonie und kosmischen Entwicklungslehre erhaltenen Thatsachen und Hypothesen abschließen. Kein Hindernis ernsterer Art steht der nun wohl allseitig gebilligten Annahme im Wege, daß wir uns die kompakten Weltkörper als aus einem nebularen Urzustande hervorgegangen und durch eine Vielzahl sich stetig folgender Verdichtungsprozesse hindurchgegangen vorstellen. Die Einzelstadien dieses Prozesses an der Hand der astrophysikalischen Forschungsresultate klarzustellen, ist ein erstrebenswertes Ziel, dem wir seit vierzig Jahren schon um ein nicht ganz kleines Stück näher gekommen sind, und dessen weitere Verfolgung das scheidende 19. Jahrhundert als ein in Ehren zu haltendes Vermächtnis seinem Nachfolger überliefert. Die Untersuchungen von J. E. Keeler (1857—1900) über Spiralnebel stehen an der Grenzscheide.

Fünfzehntes Kapitel.

Die mechanischen Disziplinen in der neuesten Zeit.

Wir haben im achten Abschnitte die Physik als ein einheitliches Ganzes bis zur Mitte des Jahrhunderts verfolgt. Diese Vereinigung einer Reihe ganz verschiedenartiger Disziplinen in einem einzigen Kapitel wäre ja natürlich auch jetzt noch keine sachliche Unmöglichkeit, so wenig wie in den Lehrbüchern dieser Wissenschaft, die in ihrer sehr großen Mehrzahl keine grundsätzliche Trennung vornehmen, soweit sie nicht überhaupt von vornherein die alte historisch gewordene Einteilung der Naturlehre in Statik, Dynamik, Akustik, Optik, Wärme-, Elektrizitäts- und Magnetismuslehre aufgeben und die Motive zu ihrer Klassifikation der modernen Energetik entnehmen. Daß letzteres an diesem Orte nicht geschehen darf, versteht sich von selbst, denn die Geschichte hat die Dinge zu nehmen, wie sie geworden sind, und nicht, wie sie sich einem besonders weit blickenden Auge am Schlusse des zu schildernden Abschnittes darstellen. Gleichwohl macht sich eben in dem Zeitraume, in den wir nunmehr eintreten, der innere Gegensatz zwischen den mechanischen Disziplinen, zu denen seit R. Mayer, Helmholtz und Joule auch die Wärmetheorie zu rechnen sein wird, und denjenigen Zweigen, welche nach der älteren Anschauung die Physik der Imponderabilien darstellen, so entschieden geltend, daß eine Scheidung der beiden Hauptpartien sich ganz von selber empfiehlt. In die erste Abteilung wird also die Lehre

von Gleichgewicht und Bewegung fester, flüssiger und gasförmiger Körper nebst Wellenlehre und Akustik aufzunehmen sein, und daß auch die Thermodynamik hierher gehört, wird nach den Darlegungen des zehnten Abschnittes nicht als zweifelhaft betrachtet werden können. Nur die Wärmestrahlung würde strenge genommen mit der Lehre vom Lichte zusammengefaßt werden müssen, und wenn wir deshalb auf diese Vereinigung verzichten, so machen wir uns, im Interesse der älteren Systematik, einer kleinen Inkonsequenz schuldig. Denn die Optik kann heutzutage vom Elektromagnetismus nicht mehr getrennt werden; beide gehören unzertrennlich zusammen. Und damit ist also das Programm für die Geschichte der neueren und neuesten Physik vorgezeichnet.

Die Mechanik sah in dem Jahre 1850, mit welchem unsere Geschichtserzählung beginnen soll, einen großen Fortschritt sich vollziehen, der zugleich der Astronomie und wissenschaftlichen Geographie zu gute kam. Unter diesem letzteren Gesichtspunkte wurde diese an der Grenzscheide unserer beiden Hauptzeiträume stehende Episode bereits im sechsten Abschnitte berührt; nunmehr ist der Zeitpunkt da, um ihre Bedeutung einer allgemeinen Würdigung zu unterziehen. Wiederholt hatten im 17. und 18. Jahrhundert scharfe Beobachter ein irgendwie in Bewegung gesetztes Senkel Bewegungen ausführen sehen, die wohl auch gelegentlich mit der Erdumdrehung in ursächliche Verbindung gebracht worden waren, aber erst der französische Physiker J. B. L. Foucault wurde durch den zufällig bemerkten Umstand, daß er eine in den Rotationsapparat eingeklemmte Stahlschiene in eigenartige Schwingungen geraten sah, darauf geführt, einer übersichtlicheren Anordnung des Experimentes nachzugehen, durch welches die Kombination einer rotatorischen und einer schwingenden Bewegung dargestellt werden sollte, und so trat vor die erstaunte Welt der berühmte Foucaultsche Pendelversuch, von dem man sofort einsah, daß er noch besser, als es mit Hilfe der bereits bekannten Fall- und Ablenkungserscheinungen geschehen konnte, den sinnenfälligen Beweis für den ersten Hauptsatz des Coppernicus erbrachte. Man ließ einen schweren Körper an einem langen Faden schwingen, indem man zugleich um möglichste Fern-

haltung störender Einflüsse durch Luftzug, Torsion u. s. w. besorgt war, und konstatierte nun mit freiem Auge, daß die Schwingungsebene des Pendels sich drehte und schließlich eine volle Umdrehung um die Ruhelage in einer Zeit ausführte, die nach Foucault gefunden ward, wenn man mit dem Sinus der geographischen Breite des Beobachtungsortes in 24 Stunden dividiert. Unter den Polen beträgt demnach die Umdrehungsdauer genau 24^h, und am Äquator nimmt sie eine unendlich lange Zeit in Anspruch, d. h. es findet überhaupt keine Bewegung statt, was schon daraus erhellt, daß der Gleicher zu beiden Erdhalbkugeln gehört und auf der nördlichen Hemisphäre eine Ablenkung nach rechts, auf der südlichen eine solche nach links stattfindet. Der Versuch ist unzähligemale wiederholt worden, und einige dieser Wiederholungen haben durch die Örtlichkeiten, an denen er stattfand, von sich reden machen. So zeigten K. Garthe (1796—1876) im Kölner Dome (1852) und Secchi im Pantheon zu Rom etwas früher einer großen Zuhörerschaft, wie sich die Erde unter dem in seiner Oszillationsebene unverändert bleibenden Pendel wegdreht, und wie durch Sinnestäuschung das Bewegungsbild derart umgeformt wird, daß man eine Bewegung des Pendels auf der ruhenden Erde wahrzunehmen glaubt. Die Anzahl der Gelehrten aber, welche das von Foucault ganz elementar begründete Drehungsgesetz exakter zu beweisen oder als angenäherten Ausdruck einer in Wirklichkeit verwickelteren Gesetzmäßigkeit nachzuweisen versuchten, ist eine so große, daß sich deren Aufzählung verbietet. Von diesen für die theoretische Mechanik wertvollen, den Physiker selbst dagegen nicht näher berührenden Arbeiten wollen wir nur die beiden als besonders bemerkenswert hervorheben, welche von Hansen im Jahre 1856 und von Poncelet im Jahre 1860 ausgegangen sind. Die ausgedehnteste Versuchsreihe, welche auch dazu diente, die erwähnte Näherungsformel als eine im Bereiche der doch nie ganz auszumerzenden Fehlerquellen völlig ausreichende nachzuweisen, lieferte gleich 1851 T. G. Bunt in Bristol, der ein 53 englische Fuß langes Pendel benützte. Die fast zahllosen analytischen und experimentellen Studien über den Pendelversuch hat A. J. Pick in Wien in einer 1876 veröffentlichten Abhandlung der „Zeit-

schrift für das Realschulwesen" kritisch besprochen, auf die jeder zu verweisen ist, der sich über eine überaus interessante Episode in der Geschichte des naturwissenschaftlichen Fortschrittes näher unterrichten möchte. Endlich ist noch zu erwähnen, daß J. K. F. Weihrauch (1841—1891) 1887 die Gestalt der von der Pendelspitze beschriebenen sphärischen Kurve mathematisch untersucht und in ihr eine schleifenförmige Rollkurve (Hypozykloide) nachgewiesen hat. Damit dürfte die im Anfange eine Menge von Gliedern aufweisende Kette von Untersuchungen über ein Problem geschlossen sein, das aber auch noch in der Folgezeit zu Erörterungen über die beste Art und Weise, die Erscheinung im Unterrichte zu verwerten, Anlaß geben wird und wohl niemals ganz, solange es wenigstens wißbegierige Menschen giebt, von der Tagesordnung abgesetzt werden kann.

Der schöne Pendelversuch war nicht die einzige Bereicherung, welche die Wissenschaft Foucault zu verdanken hatte. Wir werden seinem Namen in der Optik wieder begegnen, aber auch jetzt schon tritt die Pflicht an uns heran, einer weiteren wichtigen Erfindung zu gedenken, die der experimentellen Mechanik zu gute kam. Im Jahre 1817 bereits hatte F. Bohnenberger (1765—1831), um gewisse Erscheinungen bei der Rotation fester Körper klarzustellen, seinen Rotationsapparat konstruiert, der wohl für alle Zeiten einen unentbehrlichen Bestandteil physikalischer Kabinette darstellen wird. Ein kleines Ellipsoid wird von jener aus drei Ringen zusammengesetzten Aufhängung getragen, welche man die Cardanische nennt, weil der bekannte Polyhistor und Tausendkünstler Geronimo Cardano in seinen 1582 gedruckten „Libri XXI de subtilitate" eine solche Anordnung für Schiffslampen und andere möglichst in der gleichen Lage im Raume zu erhaltende Gegenstände vorgeschlagen hat. Coppernicus hatte noch geglaubt, es bedürfe einer stetigen „dritten" Bewegung, um die Erdachse sich stets immer parallel zu halten, aber Galilei wies bereits nach, daß eine rotierende und daneben noch anderweit bewegte Kugel ganz von selbst die Tendenz in sich trägt, den Parallelismus ihrer Umdrehungsachse aufrecht zu erhalten. Das Bohnenbergersche Maschinchen erreicht den Zweck, dies sinnenfällig darzuthun, ganz vorzüglich; der leiseste

Fingerdruck ist nämlich genügend, um dem frei beweglichen Sphäroide jede willkürliche Stellung anzuweisen; sowie jedoch der Körper durch rasches Abdrehen einer Schnur in Umdrehung versetzt ist, leistet er kräftigen Widerstand gegen die Hand, welche die Achse aus ihrer Lage herauszubringen versucht. Das von Foucault erfundene Gyroskop thut denselben Dienst in noch vervollkommneter Weise. Hauptstück des Apparates, bei dessen Konstruktion der Erfinder von Froment unterstützt ward, ist wiederum ein Drehkörper, der diesmal die Gestalt eines Torus hat, wie er durch die Umdrehung eines Kreises um eine außerhalb gelegene Gerade seiner Ebene als Achse entsteht. Dieser Wulst ist sehr sinnreich in eine Stellung völlig indifferenten Gleichgewichtes gebracht, so daß ein Hauch ihn in Bewegung versetzt; auf die Platte der Rotationsmaschine versetzt, tritt er dagegen sofort in jenes Stadium ein, welches auch beim Bohnenbergerschen Maschinchen herbeigeführt werden konnte. Das Gyroskop dient aber dann weiter dazu, nachzuweisen, daß die Drehungsachse, wenn die Symmetrie irgendwie gestört ist, jene langsame Bewegung längs der Mantelfläche eines Kegels antritt, welche aus der Astronomie als Präzessionsbewegung bekannt ist. Auf noch einfachere Weise erreichte diesen Zweck (1853) der von Plücker beratene Bonner Universitätsmechaniker G. Fessel (geb. 1821), dessen Rotationsmaschine in einer Metallscheibe mit gewulstetem Rande besteht, die innerhalb einer zweiten, ringförmigen Scheibe in Umdrehung versetzt werden kann; letztere ist an einer horizontalen Achse befestigt, die von einem vertikalen Pfosten getragen und am anderen Ende durch ein Gegengewicht so belastet wird, daß vollständige Horizontalität gewährleistet wird. Sobald dann ein Übergewicht angehängt wird, setzt sich, während die Scheibe rotiert, die Achse in die bekannte konische Bewegung. Sehr viele Mathematiker, unter denen wir insonderheit Aug. Schmidt und G. Hauck (geb. 1845) namentlich anführen wollen, haben sich später bemüht, die an den Rotationsapparaten wahrzunehmenden Erscheinungen mit Hilfe elementarer Betrachtungen zu erklären. Auch von Poggendorff und von Magnus, sowie von den Engländern Wheatstone und Baden Powell (1796—1860) ist an der Verbesserung der Vorrichtung und der Beweismethoden

gearbeitet worden. Von A. H. E. Lamarle (1806—1875) und G. E. Sire (geb. 1826) wurde ein gyroskopisches Pendel angegeben, und in den siebziger Jahren beschrieb der Belgier Ph. Gilbert (1832—1892) einen noch weit komplizierteren Apparat, den der Mechaniker Ducretet unter dem Namen Barogyroskop ausführte. Die mannigfachen, zum Teile überraschenden Vorkommnisse, welche eintreten, wenn rotatorische sich mit anders gearteten Bewegungen vergesellschaften, schienen ursprünglich eine Domäne des höheren und höchsten Kalkuls zu sein, aber durch die verschiedenen instrumentalen Hilfsmittel, welche die vorstehend genannten Physiker und Mechaniker an die Hand gaben, kann auch dem Fernerstehenden ein Einblick in die verwickeltsten Bewegungsverhältnisse vermittelt werden. N. C. Schmit, ebenfalls ein Belgier, hat sogar die Nutation, durch welche die konische Präzessionsbewegung in der Art abgeändert wird, daß die Achse stets noch eine kleine, periodisch wiederkehrende Ausbuchtung des Kegelmantels durchlaufen muß, mittelst eines Selbstaufzeichners dargestellt.

In theoretischer Beziehung bringt uns die zweite Hälfte des Jahrhunderts eine Neuordnung der Systematik, welche bisher in der Mechanik der festen Körper obgewaltet hatte. Die Statik bleibt im wesentlichen, was sie bisher schon immer gewesen war, aber die Bewegungslehre spaltet sich in zwei innerlich verschiedene Teile, Kinematik oder Geometrie der Bewegung auf der einen und eigentliche Dynamik auf der anderen Seite. Die neueren Werke über Mechanik, wie man sie 1853 von J. M. C. Duhamel (1797—1872), 1856 von C. E. Delaunay (1816—1872), 1870 von W. Schell (geb. 1826) erhalten hat, um nur ein paar besonders hervorragende zu nennen, lassen diesen Gegensatz, der früher mehr nur gefühlt als bewußt empfunden worden war, klar hervortreten. Wenn wir oben sagten, die Lehre vom Gleichgewichte sei einer gleich tief greifenden prinzipiellen Umgestaltung ihres Besitzstandes nicht ausgesetzt gewesen, so bezog sich das übrigens nur auf die Materie selbst; die Art der Behandlung nämlich ist teilweise eine von der früher üblichen weit abweichende geworden. Die Ingenieure, gewöhnt, dem Zeichenstifte einen großen Teil der bei der Projektierung irgend eines Unternehmens aufzuwendenden

Arbeit zu übertragen, hatten von je schon neben den herkömmlichen rechnerischen Methoden auch die darstellenden ausgebildet, wie ja auch die deskriptive Geometrie von Monge zu Anfang des Jahrhunderts recht eigentlich aus den Bedürfnissen der Praxis herausgewachsen war. Moebius' durchaus auf konstruktiver Grundlage beruhendes „Lehrbuch der Statik" (Leipzig 1837) zeigte der neuen Richtung den Weg. In Form eines festen Lehrsystemes konsolidierte dieselbe jedoch erst der Rheinpfälzer K. Culmann (1821—1881), der durch seine Stellung als Professor der Ingenieurwissenschaften an dem jungen eidgenössischen Polytechnikum zu Zürich die Bedürfnisse der Ausübung gründlich kennen gelernt hatte. Die graphische Statik, so benennt sich seitdem die neue Disziplin, erhielt durch ihn 1866 ihren ersten Lehrbegriff, der besonders durch die allseitige Verwendung der von der sogenannten Geometrie der Lage dargebotenen Hilfsmittel an Vollendung ungemein gewonnen hatte; indessen hat J. Bauschinger (1834 bis 1894) später (1880) gezeigt, daß man auch mit rein elementaren Hilfsmitteln gute didaktische und andere Erfolge erzielen kann. Die Bezeichnung selbst findet sich erstmalig gebraucht 1863 in einer kleinen Schrift („Über Wellen und Achsen") von Culmanns damaligem Züricher Kollegen, dem später so bekannt gewordenen F. Reuleaux (geb. 1829). Die Graphostatik lenkte auch erst wieder die allgemeinere Aufmerksamkeit auf das von Cousinery schon in den dreißiger und vierziger Jahren in Anregung gebrachte, dem Praktiker überaus nützliche graphische Rechnen, welches nunmehr den richtigen Platz innerhalb seines Gebietes angewiesen erhielt. Man ist neuerdings sogar bis zum graphischen Differentiieren und Integrieren fortgeschritten, und aus dem graphischen Kalkul hinwiederum entsprangen handliche Vorrichtungen, ohne die heute vielbeschäftigte Zahlenrechner, also in erster Reihe Astronomen und Geodäten, ihren Pflichten kaum mehr nachzukommen vermöchten. Dahin gehört vor allem der logarithmische Rechenschieber, dem schon 1843 L. K. Schulz von Straßnitzky (1803—1852) Eingang zu verschaffen bemüht war, und den 1873 K. v. Ott (geb. 1835) in einer den Anforderungen des Praktikers möglichst entgegenkommenden Weise beschrieb. Für schwierigere

Probleme der Statik sind Culmanns Methoden durch L. Cremona (geb. 1830) und C. O. Mohr (geb. 1835) beträchtlich weiter gefördert worden, indem es durch sie möglich geworden ist, resultierende Kraft und resultierendes Drehungspaar bei einer beliebigen Anzahl gegebener, ein starres Massensystem angreifender Kräfte durch Verzeichnung des Kräfte- und Seilpolygones auf rein konstruktivem Wege zu erhalten. Sogar eine graphische Dynamik ist 1873, als Fortbildung der Graphostatik, durch R. Proell ins Leben gerufen worden.

Die Kinematik ist die unerläßliche Vorbedingung der Mechanik, letzteres Wort im allgemeinsten Sinne genommen. Der Name rührt her von dem genialen Ampère, der 1834 seinen methodologisch überaus wertvollen „Essai sur la philosophie des sciences“ geschrieben und darin gar manche Zukunftsidee entwickelt hatte, die dann wohl, teilweise sogar ohne Nennung des Namens, später wieder aufgegriffen wurde. Der Begriff der Kinematik hat sich später eine verschiedene Art der Auffassung gefallen lassen müssen. Am engsten hat sich mit gutem Rechte L. Burmester an Ampère und seine Definition angeschlossen, und sein umfangreiches, namentlich auch die Litteratur sehr gründlich berücksichtigendes Werk (1888) über diesen Gegenstand gilt allseitig als die erschöpfendste Darstellung dieses Einführungskapitels der Mechanik. Wie jedoch erwähnt, legt Reuleaux seinem gleichnamigen Werke („Theoretische Kinematik“, Braunschweig 1875) eine andere Definition zu Grunde, indem er die Lehre von den Maschinengetrieben darunter verstanden wissen will. Von Reuleaux stammt auch die Formulierung des Begriffes der kinematischen Kette, einer Verbindung von Gliedern, in welcher jedes Einzelglied in seiner freien Beweglichkeit gegen die nächst anliegenden — und damit auch gegen alle übrigen — Glieder beschränkt erscheint. Eine solche Kette heißt zwangsläufig, wenn jedes Kettenglied eine bestimmte Bewegung gegen jedes andere Glied auszuführen genötigt ist; jedem Punkte des erstgenannten Gliedes ist dann eine gewisse Bahnkurve vorgezeichnet. Ein Glied einer sowohl zwangsläufigen als auch geschlossenen kinematischen Kette kann fixiert werden, und dann ist letztere, der von Reuleaux gegebenen Definition zufolge, in einen Mecha-

nismus übergegangen, der nach F. Grashof (1823—1896) dann zu einem Getriebe wird, wenn eines der beweglichen Glieder den Bewegungsimpuls liefert. Nicht darf, trotz der übereinstimmenden Etymologie, mit der Kinematik verwechselt werden die Kinetik, die nichts anderes als eine auf exakte Unterlagen gegründete Atomenlehre ist und gleichmäßig die mechanische Wärmetheorie, wie auch die physikalische Chemie beherrscht.

Ein anderer Zweig der mathematischen Physik, der aus der Statik hervorgewachsen ist und dieser so lange als Bestandteil zugerechnet ward, bis er sich selbständig machte, ist die Potentialtheorie, deren Anwendung heutzutage die denkbarst vielseitige geworden ist. Astronomie und Geophysik haben u. a. deshalb die mannigfaltigste Förderung erfahren, weil nur Potentialbetrachtungen ermöglichen, die von einem beliebig gestalteten Körper auf einen Massenpunkt oder auch auf einen anderen Körper ausgeübte Anziehung zu berechnen. An und für sich kann jedes beliebige Anziehungsgesetz in die hierfür aufzustellenden Formeln eingeführt werden, allein die natürlichen Verhältnisse bringen es mit sich, daß die Naturwissenschaft — die reine Mathemathik ist daran nicht gebunden — fast ausschließlich mit dem Newtonschen Gravitationsprinzipe operieren muß. Eine ungemein reiche Litteratur verknüpfte sich insbesondere mit dem Probleme der Attraktion eines Ellipsoides; haben doch alle uns bekannten Weltkörper diese Gestalt, so daß also die Mechanik des Himmels unmittelbar verpflichtet ist, sich für diese Aufgabe zu interessieren. Nachdem J. Ivory (1765—1842) durch sein viel besprochenes Reduktionstheorem gezeigt hatte, wie in einfachster Weise das Potential eines homogenen Sphäroides für einen äußeren Punkt ermittelt werden kann, wenn man bereits dasjenige für einen auf der Oberfläche selbst gelegenen Punkt kennt, gaben in den vierziger Jahren Lejeune Dirichlet und Chasles ihre durch außerordentliche Eleganz ausgezeichneten Lösungsmethoden, der erstere auf neuem analytischem, der andere auf dem aus der Newtonschen Zeit wohl bekannten synthetischen Wege, den gerade in diesem Falle ein Laplace für unbetretbar erklärt hatte. Auf andere Körper übertrugen die neueren analytischen Methoden

F. Grube (1835—1893), der wohl von allen in dieser Frage zu nennenden Mathematikern die größte Thätigkeit entfaltet haben dürfte, F. G. Mehler (1835—1895), J. F. W. O. Roethig (geb. 1834), F. K. J. Mertens (geb. 1840), J. Bourget (geb. 1822), Th. A. Hirst (1830—1892) u. a. Kaum versichert braucht zu werden, daß an die Darstellung der drei Komponenten, durch deren Zusammensetzung die anziehende Kraft nach Größe und Richtung sich ergiebt, in geschlossener Form nur ausnahmsweise gedacht werden kann, daß man vielmehr in der Regel mit Integralen oder Reihenentwicklungen zufrieden sein muß. Nach dieser Seite hin haben F. Neumann, den wir schon als bahnbrechenden Mineralogen kennen lernten, dessen Sohn K. Neumann (geb. 1832), H. E. Heine (1821—1881), R. O. S. Lipschitz (geb. 1832), F. A. H. Wangerin (geb. 1844) Bedeutendes geleistet, und vor allem ist der Name G. Lamés (1795—1870) hervorzuheben, an den sich die vielfach geübte Reihendarstellung durch Laméschе Funktionen knüpft. Er war es auch, der (1859) der theoretischen Physik in den zwar auch vorher nicht ganz unbekannt gewesenen, aber erst durch ihn in ihrer ganzen Verwendbarkeit erfaßten krummlinigen Koordinaten ein unübertreffliches Rechnungsinstrument an die Hand gegeben hat. An die Stelle der beiden rechtwinkligen Achsen in der Ebene treten zwei Kurvenstücke, die bezüglich auf je einer Kurve von zwei sich orthogonal durchkreuzenden Scharen abgemessen sind, und auch im Raume läßt sich eine analoge Fixierung eines Punktes dadurch erreichen, daß man in ihm drei Flächen sich durchschneiden läßt, von denen eine jede mit den beiden anderen rechte Winkel bildet. Da die Potentialtheorie neuerdings für sämtliche Zweige der Physik und der Naturwissenschaften überhaupt eine gleich hohe, sich aber noch stetig steigernde Bedeutung erlangt hat, so hat man mehr und mehr die Notwendigkeit gefühlt, deren Hauptwahrheiten auch schon in den elementaren Unterricht aufzunehmen. Daß aber auch thatsächlich mit einem Minimum von Voraussetzungen ein voll befriedigender Einblick in die Natur des Potentiales erzielt werden kann, hat in zahlreichen Schriften F. G. Holzmüller (geb. 1844) überzeugend dargethan.

In der Dynamik hat die neueste Zeit weniger Gewicht auf die Erfindung neuer genereller Prinzipien, von denen ja schon eine ziemlich große Zahl zur Verfügung steht, als auf die Vervollkommnung der Rechnungsmethoden gelegt. Immerhin ist auch in der ersteren Richtung so mancher Fortschritt zu verzeichnen. Im Anschlusse an die von Galilei gestellte Frage, wie es denn komme, daß nicht selten eine im größeren Stile ausgeführte Maschine durchaus nicht so prompt arbeite, wie man nach den Leistungen des Modelles erwarten durfte, hatte schon Newton (1687) die Bedingungen zu erforschen gesucht, unter welchen zwei Systeme von Massenpunkten zu geometrisch ähnlichen Bewegungen veranlaßt werden können, und im Jahre 1848 gab J. L. F. Bertrand (1822—1900) eine korrekte Begriffsbestimmung des Wesens der mechanischen Ähnlichkeit, indem er den von Newton gefundenen Satz als eine direkte Konsequenz des uns aus dem achten Abschnitte bekannten D'Alembertschen Prinzipes hinstellte. Seit dieser Begriff vorliegt, läßt sich der vermutliche Nutzeffekt einer herzustellenden Maschine mit weit größerer Sicherheit abschätzen. Eine besonders wichtige Fruktifizierung dieser ganzen Lehre brachte das Jahr 1873, indem an ihrer Hand Helmholtz die Frage nach der Lenkbarkeit des Luftschiffes erörterte und die Gründe aufzeigte, weshalb kleine Probemodelle oft mit überraschender Sicherheit ihren Dienst thun, während es doch nicht gelingen will, eine denselben Grundsätzen nachgebildete wirkliche Flugvorrichtung zu stande zu bringen.

Außerordentlich gefördert wurde die Lehre von der Bewegung durch den Umstand, daß es ermöglicht ward, in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts das Gesetz von der Erhaltung der Energie ihren sämtlichen Betrachtungen und Rechnungen zu Grunde legen zu können. Aufgefunden und in ihrer dynamischen Bedeutung klar erfaßt war die Gleichung der lebendigen Kraft bereits von Daniel Bernoulli um die Mitte des 18. Jahrhunderts worden, aber jetzt erst verstand man sich auf die Ziehung der richtigen Konsequenzen. Das ebenfalls früher erwähnte Hamiltonsche Prinzip wurde von Jacobi, dessen Vorlesungen über Dynamik durch die 1866 von R. F. A. Clebsch (1833 bis

1872) veranstaltete Buchausgabe zugänglich geworden sind, erheblich für die praktische Verwertung ausgestaltet, so daß es sich für alle Aufgaben eignet, in denen sich ein Punkt auf einer gegebenen Fläche zu bewegen hat. Die Drehung der Körper um eine Achse forderte die Ausbildung der durch Huygens in die Wissenschaft eingeführten Theorie der Trägheitsmomente und der freien Achsen, und diese ward vornehmlich geleistet durch J. N. Haton de la Goupillière (geb. 1833) im Jahre 1858 und durch L. O. Hesse (1811—1874), der 1861 eine durch ihre mustergiltige Formenschönheit ausgezeichnete und in mathematischer Hinsicht abschließende Lösung für das Hauptachsenproblem erbrachte. Weit schwieriger und insbesondere sehr viel unübersichtlicher wird die Sachlage bei der Drehung eines starren Körpers um einen festen Punkt. Hier griff Poinsot, der schon durch seine Kräftepaare, wie wir erfuhren, ein höchst wertvolles Verdeutlichungsmittel geschaffen hatte, mit einer neuen Systematik ein; seine zweite und umfänglichere Veröffentlichung darüber datiert aus dem Jahre 1851. Er zeigte, daß die Bewegung eines unveränderlichen Systemes, möge sie nach welchen Gesetzen immer sich richten, ersetzt werden kann durch das Abrollen eines mit dem bewegten Punkte fest verbundenen Kegels auf einem mit Translationsbewegung begabten Kegel, der die gleiche Spitze hat. Letztere fällt mit dem als fest vorausgesetzten Punkte zusammen. Auf dem geometrisch zu konstruierenden Zentralellipsoide entstehen so zwei Kurven, nach Poinsot die Polodie („Polweg") und Herpolodie („Kriechweg" des Poles); die erste ist doppelt gekrümmt, die zweite eben, und zwar rollt letztere berührend auf der Polodie hin. Durch die Verzeichnung dieser beiden Linien ist die an sich immer verwickelte Bewegung des Systemes vollkommen veranschaulicht worden. Aber auch die Analysis hat sich dieser Hilfsvorstellungen bemächtigt, und der bedeutendste deutsche Mathematiker der neuesten Zeit, W. Th. K. Weierstraß in Berlin (1815—1897), gab in den sechziger Jahren die vollständige Entwicklung der einschlägigen Formeln. Neuerdings hat E. Heß in Bamberg in einer Reihe von Abhandlungen das Wesen dieser Rollbewegung nach allen Seiten studiert; dieselbe ist nament-

lich auch für die Astronomie bedeutsam, weil sie in der sogenannten, 1748 von Bradley aufgefundenen Nutation der Erdachse ihr reelles Substrat besitzt. Infolge der aus der sphäroidischen Gestalt unseres Planeten entspringenden Präzession würde die Achse desselben im Laufe von rund 26000 Jahren die Mantelfläche eines geraden Kegels beschreiben, aber die Nutation bewirkt, daß diese konische Fläche keine glatte, sondern eine undulatorisch gekrümmte wird, wie dies oben schon erwähnt wurde.

Keine Bewegung vollzieht sich, wie jedermann weiß, ohne daß in jedem einzelnen Falle die Überwindung von Reibungswiderständen erfordert wird, und diesen muß deshalb ebenfalls in der mechanischen Physik sorgfältig Rechnung getragen werden, wie denn auch die Werke über technische Mechanik hierauf am meisten einzugehen pflegen. Die Gesetze für wälzende und gleitende Reibung waren der Hauptsache nach von Coulomb (1785) aufgestellt worden, und in den Jahren 1833 bis 1835 gab der französische Oberst, spätere General A. J. Morin (1795—1880) seine umfänglichen Untersuchungen über diese Bewegungshindernisse heraus. In unseren Tagen dankt man die eingehendsten Experimentalstudien über die Reibung, vorab über die rollende, dem britischen Physiker O. Reynolds (geb. 1842), der insonderheit auch die Wirkung der Schmiermittel aufzuklären bedacht war. Die Theorie des Reibungswinkels, dessen trigonometrische Tangente dem Reibungskoeffizienten gleich ist, hat 1882 E. Herrmann (geb. 1840) zum Gegenstande einer besonderen Untersuchung gemacht. Ein selbständiges Werk über die Reibung in ihren verschiedenen Modalitäten hat es lange nicht gegeben; seit 1872 aber ist diese Lücke ausgefüllt durch eine treffliche Leistung von J. H. Jellett (geb. 1817), von dem auch eine vervollkommnete deutsche Ausgabe (Leipzig 1890) vorliegt, besorgt von J. Lueroth (geb. 1844) und A. Schepp. Damit dürfte die Theorie der Friktion, insoweit sie es bloß mit den Berührungen fester Körper zu thun hat, für längere Zeit ihren Abschluß erreicht haben; flüssige Körper freilich stellen uns, wie wir bald sehen werden, vor neue und noch schwierigere Aufgaben. Die Praxis macht von der Reibung den ausgedehntesten Gebrauch; es sei nur erinnert an die Friktions=

rollen, die man überall anbringt, wo es auf eine möglichste Verminderung der Widerstände ankommt, und an das von Baron Prony erfundene Bremsdynamometer, das bei Motoren aller Art den wirklichen Nutzeffekt bequem zu ermitteln erlaubt. Überhaupt braucht kaum betont zu werden, daß beim Bremsen die Reibung immer die Hauptrolle spielt, wenn auch die Vorrichtungen, mittelst deren man ein in rascher Bewegung befindliches Fahrzeug zum Stillstande zu bringen sucht, denkbarst verschiedener Natur sind. Uralt sind die Handbremsen, welche durch Hebeldruck das Anpressen eines Bremsstückes an das Rad ermöglichen, so daß also die bisherige rollende in die — bei Vergrößerung der Reibflächen — ungleich energischer wirkende gleitende Reibung umgewandelt wird, aber zumal die modernen Bahnzüge bedürfen der kontinuierlichen Bremsen, sei es daß eine Kettentrommel — System Heberlein —, der Prozeß des Luftsaugens — Systeme Koerting und Clayton — oder endlich der Luftdruck — Systeme Carpenter, Schleifer, Westinghouse — die den Bremsdruck auslösende Ursache darstellt. In einem monographischen Werke (Wiesbaden 1886) hat A. Frank die überaus vielseitigen Bethätigungen des Bremsprinzipes auseinandergesetzt. Bei den Eisenbahnverwaltungen scheint zur Zeit die Westinghouse-Bremse den bereitwilligsten Eingang gefunden zu haben.

Was über die physikalische Atomenlehre zu sagen ist, wird zweckdienlich erst später in Betracht gezogen werden, und nur zwei Abteilungen der Molekularphysik fester Körper haben uns schon hier zu beschäftigen. Beide stehen unter sich in der allerengsten Beziehung: die Lehre von der Elastizität und von der Festigkeit. Wir erfuhren, daß in der ersten Hälfte des Jahrhunderts W. Wertheim, der leider schon 1861 den freiwillig gesuchten Tod fand, sich um die Erforschung der Elastizitätsverhältnisse besondere Verdienste erworben hat, und diese Experimentaluntersuchungen ziehen sich auch noch durch die fünfziger Jahre hin. Von besonderem Belange ist seine Revision der von Coulomb für die Torsionselastizität angegebenen Gesetze (1857), beruhend auf unmittelbarer Messung des von seinem Vorgänger indirekt aus der Schwingungsdauer erschlossenen Torsionswinkels, und auch die

Frage, wie sich die kubische Zusammendrückbarkeit der Körper gestalte, ist von Wertheim in Angriff genommen worden, der auch — von Hause aus Mediziner — der Physiologie nutzbringende Angaben über die Elastizität der tierischen Gewebe zur Verfügung stellte. In theoretischer Hinsicht ist vor allem G. Kirchhoff zu nennen, der die wahre Natur des zuvor für konstant gehaltenen Verhältnisses der Querkontraktion zur Dilatation eines elastisch beanspruchten Stabes feststellte. Die mathematische Lehre von der Elastizität erhielt die wertvollsten Anregungen durch die Werke, welche Lamé (1852), Clebsch (1862), Beer (1869), Grashof (1878) herausgaben. Neben diesen Mathematikern kommt als einer der eifrigsten Bearbeiter der Elastizitätstheorie A. J. C. Barré de Saint-Venant (1797—1886) in Betracht, der u. a. noch kurz vor seinem Tode (1884) das Clebschsche Lehrbuch in die französische Sprache übertrug. Die wichtigsten Eigenschaften der elastischen Körper schienen schon zu Beginn des Jahrhunderts bekannt zu sein, als eine im Jahre 1835 von W. Weber entdeckte Erscheinung den Anlaß zu einer gewissen Umbildung der erworbenen Anschauungen gab. Es ist dies die elastische Nachwirkung; mit der Erklärung derselben und mit der genaueren Erforschung ihres quantitativen Verhaltens haben sich Clausius und F. Kohlrausch (geb. 1840) hauptsächlich beschäftigt. Wenn ein elastischer Körper ausgedehnt oder sonst in seinem inneren Zusammenhange gestört wird, ohne daß es jedoch zur Überschreitung der Elastizitätsgrenze kommt, so kehrt der Körper, wenn auch nie ganz vollständig, in den anfänglichen Zustand zurück, sobald die störende Ursache zu wirken aufgehört hat; in Wahrheit aber tritt stets einige Zeit, nachdem bereits der Endzustand erreicht schien, nochmals eine Bewegung ein. Weber und Kohlrausch gehen von der Annahme aus, daß jeder Impuls in den kleinsten Teilchen des beanspruchten Körpers eine doppelte Bewegung, eine translatorische und eine gyratorische, zuwege bringt; namentlich gegen diese letztere Tendenz mache sich ein kräftiges Widerstreben der Korpuskeln geltend, und die damit ausgelöste Kraft brauche längere Zeit, um sich geltend zu machen. Die weiteren Untersuchungen, welche L. Boltzmann, O. E. Meyer (geb. 1834),

J. Neesen (geb. 1849) u. a. über das viele Schwierigkeiten in sich bergende Phänomen bekannt gaben, konnten die bereits vorliegenden Erfahrungsthatsachen genügend, wiewohl von verschiedenen Standpunkten aus, aufhellen; nicht jedoch reichten sie aus, um den weiteren Beobachtungen zu genügen, mit denen Kohlrausch 1876 hervortrat. Einem Stabe wird zuerst eine namhaftere Streckung und nächstdem eine geringfügigere Kontraktion zugefügt; überläßt man ihn hierauf sich selbst, so überwiegt fürs erste der zuletzt erteilte Bewegungsantrieb, aber nach einiger Zeit fängt der Stab sich ganz von selbst, ohne irgendwelches fremdes Zuthun, wieder zu strecken an, so daß die Bewegungsrichtung spontan ihr Vorzeichen wechselt. „Ich kenne wenige so überraschende Vorgänge, wie diese freiwilligen Bewegungsänderungen eines leblosen Körpers", meinte Kohlrausch mit gutem Rechte. K. F. Braun (geb. 1850) sprach sich auf Grund seiner Experimente dahin aus, daß zwischen der Molekularaktion, welche die gewöhnlichen Bewegungen angegriffener und dann wieder freigegebener elastischer Körper verursacht, und derjenigen, auf welche die elastische Nachwirkung zurückzuführen ist, ein grundsätzlicher Gegensatz obwalte. Ungemein verallgemeinert wurde der Standpunkt, von dem aus dieser einstweilen noch lokalisierte Erscheinungskomplex betrachtet worden war, 1882 durch A. Hesehus, der darauf hinwies, daß es eine große Anzahl von Vorkommnissen in allen Gebieten der Physik giebt, welche eine unverkennbare Ähnlichkeit mit der anscheinenden Willkürlichkeit in den Bewegungen der elastischen Körper bekunden; es sei nur an die als optische Nachwirkungen zu bezeichnenden Lichterscheinungen der Fluoreszenz und Phosphoreszenz appelliert. Die Gesetze der elastischen Nachwirkung haben Boltzmann (1876) und E. Wiechert (1893), dieser unter Annahme konstanter Temperatur, festzulegen getrachtet. Wie sehr auch die Praxis an einer erschöpfenden Aufdeckung der hier obschwebenden Gesetzmäßigkeiten Interesse zu nehmen hat, lehrt uns das allen wissenschaftlichen Reisenden nur zu bekannte Beispiel der Federbarometer. Man sagt ihnen allseitig nach, daß sie „launenhaft" seien, allein die Sprunghaftigkeit, mit der die Lamellen auf- und abschnellen, hat eben größtenteils in der elastischen Nachwirkung ihren Grund.

In eine andere, obgleich dem sachlichen Inhalte nach nicht weit abweichende Klasse von physikalischen Problemen gehört der Stoß elastischer Körper, der in der Mehrzahl der Fälle exzentrisch erfolgt und alsdann die betroffenen Körper in einen eigentümlichen Bewegungszustand versetzt. Die hierher gehörigen mathematischen Fragen, noch kompliziert durch die Reibung der sich bewegenden Kugeln an der Unterlage, machte schon 1835 G. G. Coriolis (1792—1843) zum Objekte einer tiefgehenden Studie über die Wechselfälle des Billardspieles. Versuche über die Stoßdauer, d. h. über die Zeit, während deren sich die beiden zusammentreffenden Körper in innigster Berührung befunden haben, besitzt man von Pouillet (1845), und an diese knüpfte 1869 H. Schneebeli (1849—1890) an, indem er zusah, wie lange durch jenes Beisammensein der an der Berührungsstelle momentan abgeplatteten Kugeln ein galvanischer Strom geschlossen wurde. Selbstredend fand er ungemein winzige Bruchteile von Sekunden.

Die Festigkeitslehre ist bis in die neueste Zeit herein wesentlich eine Domäne der Techniker gewesen, obwohl es gegen Ende des 17. Jahrhunderts zuerst ein Physiker, der bekannte E. Mariotte, war, der sich mit experimenteller Prüfung der Festigkeitsverhältnisse befaßte. In unserer Zeit sind 1841 (posthum) von C. L. M. H. Navier (1785—1836), 1867 von E. Winkler, 1877 von A. Kurz (geb. 1835), 1894 von C. Bach zusammenfassende Darstellungen dieses Teiles der angewandten Physik veröffentlicht worden, und aus ihnen kann man am besten ersehen, wie weit Theorie und Erfahrung es hier gebracht haben. Um die Festigkeit der von Architekten und Ingenieuren verwendeten Materialien — absolute, rückwirkende, Schub- und Torsionsfestigkeit — genau ausmitteln zu können, bedient man sich der Probiermaschinen, deren es jetzt eine ganze Anzahl giebt. Viel gebraucht werden diejenigen von Fairbanks, Gollner und namentlich von L. Werder (1808—1885), einem Schweizer, der jedoch sein großartiges Erfinder- und Konstruktionstalent ganz in den Dienst seines Adoptivvaterlandes Bayern gestellt hat. Von ihm sind beispielsweise der Glaspalast in München und — nach F. A. v. Paulis (1802—1883) Systeme — die Brücke von

Großhesselohe über die Isar erbaut worden; er gab dem bayerischen Heere das seinen Namen tragende, ausgezeichnete Feuergewehr, welches 1873 nur ungerne der Übereinstimmung halber aufgegeben werden mußte. Seine Festigkeitsmaschine hat den hohen Vorteil, für alle Arten der Beanspruchung gleichmäßig eingerichtet zu sein und äußerst verlässige Resultate zu liefern, wiewohl sie eigentlich nur ein ganz einfaches Hebelprinzip zur Grundlage hat. Mit ihr hat J. Bauschinger jene großartigen Versuchsreihen zu stande gebracht, welche seit langen Jahren das Münchener Laboratorium in weiten Kreisen bekannt machten, und sein Nachfolger A. Foeppl (geb. 1854) ist ihm darin nachgefolgt. Andere, so Delaloe, legen die Kraftmessung mit der gespannten Feder zu Grunde, wie sie bei dem ganz allgemein eingeführten Morinschen Dynamometer zur Geltung kommt.

Nachdem wir so die neueren Errungenschaften der Stereomechanik kurz durchgemustert, würde uns, falls wir ganz in den Pfaden der älteren Physik zu wandeln verpflichtet wären, sofort der Übergang zu den tropfbaren Flüssigkeiten obliegen. Die neueren Anschauungen erheischen jedoch auch die Berücksichtigung der Übergangszustände. In einem solchen Zustande befinden sich alle halbflüssigen oder plastischen Massen, die man sowohl künstlich herstellen, als auch in der Natur häufig genug vor sich sehen kann. Die physikalische Geographie bietet uns vielfach Gelegenheit, dergleichen kennen zu lernen, und wir wollen deshalb auf die Bewegung solcher Körper erst in dem entsprechenden späteren Abschnitte zu sprechen kommen. Erwähnt sei für jetzt nur, daß St. Venant und M. Lévy (geb. 1838) die Grundgleichungen der sogenannten Plastikodynamik hergeleitet haben. Gewöhnlich wird angenommen, daß der fragliche Körper von allem Anfange an sich in plastischem, d. h. zäh- oder dickflüssigem Zustande befand, allein das ist keineswegs eine notwendige Voraussetzung, sondern es kann in einen solchen Zustand auch ein fester Körper durch geeignete Maßnahmen versetzt werden. Ältere Bemerkungen dieser Art sind ohne ernsthafte Bedeutung; um 1865 aber überraschte H. E. Tresca (1814—1885) die gelehrte Welt mit der Nachricht, daß es ihm geglückt sei, durch starken, einseitig wirkenden

Druck eine Metallmasse zu förmlichem Ausfließen aus Röhren zu zwingen, und zwar waren im Inneren des verwendeten Bleizylinders Schichtungen wahrzunehmen, wie man sie auch von der Konstitution eines ausströmenden Strahles kennt. Daran reihten sich die ausgedehnten, 1880 begonnenen und auch durch den Anbruch eines neuen Jahrhunderts durchaus nicht unterbrochenen Experimentaluntersuchungen von W. V. Spring in Lüttich (geb. 1848). Nicht nur wurde es ihm möglich, pulverisiertes Metall durch — diesmal allseitigen — Druck zu einem homogen erscheinenden Festkörper mit gegebenenfalls glatter Bruchfläche zu vereinigen, sondern er zeigte auch, daß solche Körper, wie er sie namentlich aus feinen Spänen von Kadmium, Zinn und Wismut zusammenschweißte, einer Veränderung ihres krystallographischen und chemischen Verhaltens teilhaftig gemacht werden können. So verwandelte sich prismatischer in oktaedrischen Schwefel, amorpher in krystallinischen Phosphor u. s. w. Zweifellos sind hier wechselnde Verflüssigungs- und Verfestigungsprozesse im Spiele, die sich nur — ähnlich wie auch bei der Münzprägung — so ungemein rasch folgen, daß ein einzelnes Stadium nicht wohl festgehalten werden kann. Am eindringlichsten macht sich die von diesen höchst merkwürdigen Versuchen gesprochene Sprache in der Geologie geltend, die uns die Bedeutung solcher Neubildungen unter hohem Drucke in neuer Beleuchtung vorführen wird. Ja sogar eine wechselseitige Diffusion fester, d. h. vorübergehend flüssig gewesener Körper konnte J. L. G. Violle (geb. 1841) konstatieren, und A. Colson hat von 1881 an diesen Vorgang eingehender verfolgt. Chlorsilber und Chlornatrium, Kieselerde und Kohle diffundieren leicht ineinander. Daß speziell die Technik, welche doch hohe Drucke gar oft anzuwenden genötigt ist, auf ein so abnorm erscheinendes Verhalten derjenigen Körper aufmerksam ward, deren Moleküle der herrschenden Ansicht nach nur durch Temperaturerhöhung aus ihrer Mittellage zu entfernen gewesen wären, ist nur natürlich, und so hat denn auch der Prager Techniker Kick, später in Wien lebend und Herausgeber einer sehr geachteten Fachzeitschrift („Technische Blätter"), die einschlägigen Fragen einer gründlichen Untersuchung in dem durch seine beruflichen Interessen bestimmten

Sinne unterzogen. Seine Arbeiten gipfeln ebenfalls in der Anerkennung der Thatsache, daß durch Druck feste Körper ins Fließen gebracht werden können. Kick vermochte die bruchlose Umformung von Körpern zu erreichen, die sonst durch ihre Sprödigkeit ausgezeichnet sind. In allerneuester Zeit hat auch L. Grunmach (geb. 1851) dankenswerte Beiträge zu der besseren Kenntnis dieses Erscheinungskomplexes geliefert. Wenn ein vertikal aufgehängter, mit Gewichten belasteter Stab bereits über die Streckgrenze hinaus gezerrt ist, so treten an seiner Außenseite die sogenannten Streckfiguren hervor, Kurvensysteme, die sich als die Verbindungslinien der Punkte gleichen Zuges und gleichen Druckes deuten lassen; sie sind das unverkennbare Kriterium des Fließens der Metalle.

Man sieht, daß hier ein gewisses Paradoxon inmitten liegt; auf der einen Seite wirkt der Druck, wie bei den Springschen Versuchen, verfestigend und auf der anderen muß ihm anscheinend die Fähigkeit, die Moleküle voneinander zu entfernen, zugesprochen werden. Daß letzteres, wenn die Pressung gewisse Grenzen überschritten hat, wirklich der Fall ist, erhellt auch aus den Rechnungen J. Bauschingers (1879), die sich inhaltlich mit denjenigen G. Bellis (1791—1860) decken, in Methode und Folgerichtigkeit aber weit darüber hinausgehen. Wenn man die Kraftwirkungen, welche ein sehr tief liegendes, ursprünglich aus festem Gesteine bestehendes Raumteilchen der Erdkruste auszuhalten hat, analytisch darstellt, so zeigt sich, daß der Druck, der weiter oben eben stets nur in der durch die Kraftrichtung gegebenen Linie sich fortpflanzt, allmählich mehr und mehr sich ausbreitet, und zuletzt wird ein Grenzzustand erreicht, der dadurch gekennzeichnet ist, daß der Druck radial nach allen Seiten hin fortschreitet. Gerade dies ist aber bekanntlich die Fundamentaleigenschaft flüssiger Körper, und es wird also damit ausgesagt, daß sehr energischer Druck eine Annäherung des festen an den tropfbarflüssigen Zustand herbeiführt. Wir werden in dem von der Geologie handelnden Abschnitte diese überaus merkwürdigen und noch lange nicht ausreichend erforschten Relationen zwischen Druck und Molekularzustand aufs neue in Betracht zu ziehen haben.

Die Hydrostatik im engeren Sinne hat bereits in früherer Zeit einen systematischen Abschluß erhalten, und es ist auf diesem Gebiete keine Neuerung von Belang zu vermelden. Weit wichtiger erweist sich für das zweite Jahrhundert die wissenschaftliche Arbeit auf dem Gebiete der Hydrodynamik, für welche A. C. W. H. Scheffler (geb. 1820) ein sehr brauchbares Handbuch (1847) geliefert hat. Die Gesetze, nach denen sich die Strömung in Flüssen und Kanälen richtet, waren erwähntermaßen von den italienischen Hydrotechnikern des 18. und des beginnenden 19. Jahrhunderts eifrig studiert worden, allein man war im wesentlichen doch nur zur Aufstellung der sogenannten parabolischen Theorie gelangt, welche allerdings eine leidliche Annäherung gewährt, im Einzelfalle aber doch nicht zur Darstellung der von einem einzelnen Wasserteilchen beschriebenen Bahn die notwendigen Hilfsmittel bietet. Legt man durch die beiden Geraden, welche auf dem Stromstriche senkrecht stehen, selbst wieder senkrechte Linien, die mithin bezüglich in die Achsial- und Horizontalebene fallen, und trägt auf jeder einzelnen Linie eine der Stromgeschwindigkeit äquivalente Strecke ab, so sollen die Endpunkte aller dieser Linien jeweils auf einer Parabel liegen. Diesen Schematismus zu verlassen, geboten zuerst mit Entschiedenheit die Messungen, welche von 1851 an die amerikanischen Ingenieure A. A. Humphreys (1810—1883) und H. L. Abbot (geb. 1831) im Mississippigebiete ausführten. Ihre Ergebnisse widersprechen zwar nicht direkt der parabolischen Theorie, machen uns aber mit den mannigfachen Abweichungen von derselben und insbesondere mit dem Umstande bekannt, daß die Formel, nach welcher die Mittelgeschwindigkeit der Strömung aus der Tiefe des Flusses und aus einer thunlichst großen Anzahl gemessener örtlicher Geschwindigkeiten berechnet werden kann, doch eine verhältnismäßig verwickelte ist. Andere Formeln für diesen Zweck sind von G. L. Hagen (1797—1884), einem der hervorragendsten neueren Wasserbaumeister, im Jahre 1868, von H. Heinemann im Jahre 1872, von H. Ph. G. Darcy (1803—1858) im Jahre 1865 und von A. R. Harlacher (1842—1890) im Jahre 1881 angegeben worden; damit ist dann auch die Bestimmung der in der Zeitein-

heit durch den Stromquerschnitt hindurchgehenden Wassermenge ermöglicht. Die hierzu verwendeten Formeln hat allerdings einer der neueren Hydrologen, H. Gravelius in Dresden, der die auch für praktisch-hydrodynamische Fragen wichtige „Zeitschrift für Gewässerkunde" herausgiebt, einer teilweise scharfen Kritik unterstellt, und es kann die Aufgabe, solche Abflußmengen durch eine strenge Formel auszudrücken, noch keinenfalls als endgiltig gelöst angesehen werden. Das Instrumentarium, mit dem die heutzutage weit gediehene Hydrometrie arbeitet, hat sich gegen früher erheblich umgestaltet. Der Stromröhre von Pitot und dem Stromquadranten von Bouguer kommt mehr nur noch geschichtlicher Wert zu; nicht als ob diese Apparate an und für sich inkorrekt konstruiert wären, aber der gegenwärtig geforderte Genauigkeitsgrad läßt sich auf diese Weise nicht erreichen. Dagegen ist der von R. Woltman (1757—1837) erfundene Stromflügel noch immer im Gebrauche; aus der Anzahl der Umdrehungen, welche die vier vom Wasserstoße betroffenen Ansätze machen, folgt fast ohne Rechnung die gesuchte Geschwindigkeit, sobald noch eine besondere, von Exemplar zu Exemplar wechselnde Konstante bekannt ist. Wie man diese bestimmen könne, hat in neuester Zeit (1895) Max Schmidt gezeigt. Einer der glücklichsten Erfinder, J. Amsler-Laffon (geb. 1823) hat den Flügel 1878 dadurch erheblich verbessert, daß er ihn mit Zählwerk und elektrischer Zeichengebung versah, und letzteres ist auch der Fall bei den Instrumenten Harlachers. Durchweg geht man übrigens bei der Anwendung dieser Vorrichtungen von der Absicht aus, die wirkliche Strömung an möglichst vielen einzelnen Orten der bewegten Flüssigkeitsmasse zu ermitteln, so daß dann das arithmetische Mittel einen Durchschnittswert liefern muß. Um diese Größe jedoch sofort zu erhalten, ist A. Franks hydrometrische Röhre sehr geeignet. Ein Zylinder ist längs einer Seitenlinie aufgeschlitzt, so daß in dem Augenblicke, in welchem die schützende Hülle entfernt wird, die volle Stoßkraft des Wasserlaufes das Innere trifft und die hier befindliche Luft komprimiert; ein Manometer dient zur Messung des Druckes und damit auch zur Berechnung der Mittelgeschwindigkeit des Wassers. Durch Verzeichnung der in Har-

lachers, von den Strombautechnikern sehr geschätztem Werke über Elbe und Donau (1881) vorgeschlagenen Isotachen oder Linien gleicher Strömungsgeschwindigkeit erhält man ein klares Bild von der Verteilung der Geschwindigkeiten zu beiden Seiten des Stromstriches, längs dessen das Maximum erreicht wird.

Mit den Messungen hat sich in neuester Zeit auch die Theorie verbunden, um den nichts weniger denn einfachen Strömungsprozeß zu analysieren und von den oft verwickelten Bewegungsverhältnissen Kunde zu erhalten. Die Annahme, daß die sogenannten Stromfäden sämtlich parallele Gerade oder auch nur sämtlich parallele Kurven seien, läßt sich selbst in dem einfachsten Falle nicht aufrecht erhalten, wenn das Wasser in regelmäßig prismatischem Gerinne, und mit nur ganz geringem Gefälle, ruhig dahinfließt. Die einzelnen Stromfäden nehmen nach J. Thomson (1878) stets eine spiralige Gestalt an, und M. E. K. Moeller (geb. 1854) hat (1883) diese Thatsache mit dem Zusatze bestätigen können, daß zwei vom Stromstriche symmetrisch-gleich abstehende Wasserteilchen Spiralbewegungen von gleichem symmetrischem Charakter beschreiben, indem jedoch eine von ihnen das Spiegelbild der anderen darstellt. Nebenher sind stets auch Wirbelbewegungen von horizontal gerichteter Achse vorhanden, welche einen Ausgleich zwischen den verschiedenen Geschwindigkeiten oben und unten herbeiführen wollen. Es leuchtet ein, daß durch die Notwendigkeit, auch diesen nichts weniger denn einfachen Bewegungsformen gerecht zu werden, der theoretischen Hydrodynamik schwierige Aufgaben gestellt sind. Diesen Wissenszweig hat unter dem rein mathematischen Gesichtspunkte H. Lamb (geb. 1849) in einem systematischen Werke (1879), das auch in unsere Sprache übergegangen ist, abgehandelt, aber selbstredend genügt keine noch so elegante Diskussion der einschlägigen Differentialgleichungen für die Vielgestaltigkeit der bei der Betrachtung der Naturgewässer hervorgetretenen Probleme. Ganz Hervorragendes leistete für die Hydraulik mit dem Bestreben, der reinen Theorie und der Wirklichkeit gleichmäßig Rechnung zu tragen und so zu wirklicher Einsicht in den Bewegungsvorgang durchzudringen, V. J. Boussinesq (geb. 1842), dessen von der Pariser Akademie unter die von „auswärtigen Gelehrten“ einge-

reichten Abhandlungen aufgenommene „Théorie des eaux courantes" (1874) auch in unseren Tagen noch nicht als vollständig ausgenützt gelten kann, sondern auch für spätere Forscher noch eine Fundgrube von wichtigen Bemerkungen bilden wird. Nach dieser Seite hin müssen insbesondere die Untersuchungen über die Gestaltung der Flußbetten und über die noch lange nicht genug studierten Beziehungen zwischen Haupt- und Nebenfluß namhaft gemacht werden.

Nach einer ganz anderen Richtung überaus bedeutsam für die Hydrodynamik wurde ein Zyklus von Arbeiten, mit deren Veröffentlichung K. A. Bjerknes (geb. 1825) im Jahre 1875 begann, und die, so wichtige Thatsachen auch bereits zu Tage gefördert wurden, gleichwohl noch nicht bis zum völligen Abschlusse gediehen sind. Zwei andere Norweger, O. E. Schiötz (geb. 1846) und Svendsen, haben ihren Landsmann bei den ausgedehnten Versuchen unterstützt, während diesem selbst die analytische Behandlung vorzugsweise angehört. Wenn sich in einer inkompressiblen Flüssigkeit zwei aus elastischem Stoffe gefertigte Kugeln befinden, so wirken sie zwar in Ruhe nicht erkennbar aufeinander; sobald sie jedoch beide in den Zustand der Pulsation versetzt werden, beeinflussen sie sich gegenseitig, und zwar ziehen sie sich an oder stoßen sich ab, je nachdem sie sich in der gleichen oder in entgegengesetzter Phase der Dilatation und Kompression befinden. Diejenige Kugel, so kennzeichnet Bjerknes selber das Verhältnis, deren veränderliches Volumen sein Minimum erreicht hat, treibt die in das Stadium des Maximums eingetretene von sich fort. Die sphärische Gestalt thut nichts zur Sache, denn bei den elastischen Zylindern, deren Bewegungen 1881 die Mitglieder der elektrischen Ausstellung in Paris in Erstaunen versetzten, verhielt sich alles ebenso, und nur die an sich sehr schwierigen Rechnungen, welche auch noch die vierte Potenz des Verhältnisses zwischen Radius und Zentraldistanz zu berücksichtigen haben, werden im ersteren Falle einigermaßen vereinfacht. Es ist gewiß, daß die 1877 von V. Dvořák in Agram (geb. 1848) nachgewiesenen akustischen Anziehungen und Abstoßungen völlig in der gleichen Weise interpretiert werden müssen, und noch weiter

trat eine durchgreifende Analogie mit den in der Elektrostatik und in der Lehre vom permanenten Magnetismus vorwaltenden Kräften zu Tage. Die wirksamen Kräfte verhalten sich ganz evident umgekehrt wie die Quadrate der Distanzen der beiden pulsierenden Körper; ja, die Ähnlichkeit eines solchen mit einem Magneten ließ sich noch dadurch zur klareren Offenbarung bringen, daß man jeden Körper durch eine Scheidewand in zwei gleiche Teile teilte und die Luft in beiden abwechselnd verdichtete und verdünnte; denn nun wurde der erstere zu einem wirklichen, zweipoligen Magneten, der auf der einen Seite Attraktion, auf der anderen Repulsion ausübte. Die Bewegung des Wassers, durch eingestreute Schwimmkörperchen sichtbar gemacht, vollzieht sich auch in Bahnen, deren Gleichartigkeit mit den Faradayschen Kraftlinien nicht bestritten werden kann. Diese letztere Thatsache wurde auch bestätigt durch die dem Beginne der achtziger Jahre entstammenden Beobachtungen von A. Stroh und B. Elie; ersterer erzeugte die durch eine Luftschwingung in den beiden Hälften des elastischen Hohlkörpers vermittelten, auslösenden Pulsationen mittelst tönender Pfeifen, während Elie sich drehende Kugeln in Betracht zog und an diesen eine wesentlich übereinstimmende Aktion nachwies. Wie man nicht bezweifeln kann, ist mit der Eröffnung dieses noch reiche Ausbeute versprechenden Untersuchungsgebietes eine neue Perspektive für die Erkundung des Zusammenhanges aller Naturkräfte erschlossen worden.

Vielleicht noch wichtiger in diesem Sinne können aber die ebenfalls erst in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts ausgebildeten Wirbeltheorien werden. Die Erscheinung von Wirbelbewegungen in strömendem Wasser war ja freilich etwas altbekanntes, und daß auch namentlich in Meerengen durch den Konflikt entgegengesetzt gerichteter Strömungen gefahrdrohende Wirbel entstehen können, war für ein Zeitalter nichts neues, welches die „Szylla und Charybdis" im Faro von Messina und den „Malstrom" im Inselgewirre der Loffodten wissenschaftlich zu ergründen gewillt war. Für die Feststellung der Regel, nach welcher sich in der altberühmten italienischen Meeresstraße die Umsetzung der Bewegung richtet, war in den letzten Jahren des 18. Jahrhunderts L. Spallanzani

(Abschnitt X) thätig gewesen, und über die Strudel der Donau hatte (1781 und 1791) der Jesuit J. Walcher (Abschnitt VI) gelehrte Werke verfaßt. Aber mit der praktischen Erörterung der Einzelfälle hatte die theoretische Einsicht nicht gleichen Schritt gehalten, und sie war auch, die Wahrheit zu sagen, nicht beträchtlich gefördert worden durch den Umstand, daß dereinst (1637) Cartesius ein kühnes System auf die Annahme des Wirbelns einer unwägbar feinen „dritten“ Materie begründet und damit eine Schule begründet hatte, deren Anhänger erst gegen die Mitte des folgenden Jahrhunderts, wie die Namen Joh. Bernoulli, A. Cavalleri und B. de Fontenelle darthun, allmählich ausstarben. In exakt wissenschaftlichem Geiste, ohne jede Beimischung naturphilosophischer Nebenabsichten, war freilich schon J. Newton in seinem berühmten Werke von 1687 an die Lehre von den Wirbeln herangetreten, aber sein Vorgehen blieb für lange ein vereinzeltes und unverstandenes. Indessen war auch seine Definition des Wirbels eine spezielle, indem nur an eine kreisförmig-rotatorische Bewegung der Flüssigkeit gedacht ward. Dann tritt eine lange Pause ein, bis um die Mitte des 19. Jahrhunderts die von Maxwell und W. Thomson aufgestellten Hypothesen über die Wirbelzustände der Materie eine zusammenhängende Bearbeitung dieser Art von Bewegung zur Notwendigkeit machten. Es war Helmholtz, der dem Rufe der Wissenschaft folgte, und in der Hauptsache sind die Kenntnisse, welche uns jetzt bezüglich der Wirbel zur Verfügung stehen, in den Abhandlungen jenes großen Forschers enthalten. Im Jahre 1858 erschien die erste derselben, und seitdem ist ihr Autor noch mehrfach auf die Sache zurückgekommen. Die flüssige Masse, in der ein Teil bewegt wird, soll inkompressibel und reibungslos sein; alsdann ist es nach Helmholtz unmöglich, daß ein Flüssigkeitsteilchen in eine rotatorische Bewegung gerät, wenn es nicht von Anfang an an einer solchen teilnahm. War aber letzteres der Fall, so haben sich Wirbellinien herausgebildet, deren Tangente allenthalben mit der momentanen Rotationsachse des am Berührungspunkte befindlichen Teilchens zusammenfällt, und wenn man für ein Flächenelement alle die zugehörigen Wirbellinien konstruiert, so erfüllt deren Gesamtheit einen sogenannten

Wirbelfaden. Eine Wirbellinie ist unzerstörbar, denn die einmal auf ihr liegenden Teilchen bleiben ihr für alle Zeiten erhalten, und ebenso ist für einen Wirbelfaden das Produkt aus Querschnitt und Umdrehungsgeschwindigkeit konstant. Dieser Lehrsatz giebt zugleich Aufschluß über die Gestalt der Wirbelfäden; sie müssen nämlich entweder geschlossen sein oder, wenn dies nicht zutrifft, so können ihre Enden nur in der Grenzfläche selbst liegen, so daß also wenigstens, wenn keine solche existierte, der Zusammenschluß stattfinden müßte. Die theoretische Unzerstörbarkeit der Wirbelringe bringt es mit sich, daß zwei oder mehrere solche, die sich mit verschiedener Geschwindigkeit translatorisch bewegen und so aufeinander treffen, in den eigentümlichsten Windungen um einander herum oder durch einander hindurch ihren Weg nehmen. Diese theoretisch als notwendig herausgefundenen Wahrheiten sind auch der experimentellen Bekräftigung teilhaftig geworden, und zwar war es Tait, der den glücklichen Gedanken verwirklichte, die dauerhaften Rauchringe als Träger der abstrakten Gyrationsbewegung in die Praxis einzuführen. Auch diese Gebilde fallen ja infolge der Luftreibung und anderer Einflüsse der Vernichtung anheim, aber sie können doch, wie jeder geübte Raucher weiß, ihre Individualität oft lange beibehalten. Um den richtigen Rhythmus zu schaffen, spannte Tait über die offene Rückwand eines parallelepipedischen Kästchens ein Tuch und füllte letzteres mit Tabakrauch, dessen Stelle man neuerdings durch den Rauch zu ersetzen pflegt, der sich bei Berührung gewisser Chemikalien entwickelt. Bringt man sodann das gespannte Tuch durch regelmäßige Anstöße ins Vibrieren, so ringen sich aus einer gegenüberliegenden, kreisförmigen Öffnung in der Vorderwand unausgesetzt Wölkchen los, die bald in wirkliche Wirbelringe übergehen, und wenn man es dahin bringt, daß der zweite Ring etwas schneller als der erste fortschreitet, so kann man das hübsche Schauspiel mit ansehen, daß der folgende Ring sich zusammenzieht, durch den Hohlraum seines Vorgängers hindurcheilt und gleich nachher wieder sich ausweitet.

Wir werden zum Schlusse dieses Abschnittes der prinzipiellen Bedeutung des Wirbelphänomenes noch einige Worte zu widmen

haben. Nur kurz sei an dieser Stelle noch daran erinnert, daß Helmholtz die Bedingung, unter welcher in einer Flüssigkeit der bezeichneten Art Wirbel entstehen oder auch nicht entstehen können, in eine mathematische Form gekleidet hat, welche die ganze Theorie zu anderen Zweigen der Physik in die engste Beziehung setzte. Wiederholt mußten wir von jener beherrschenden Funktion sprechen, welche unter dem Namen des Potentiales uns bei allen Gelegenheiten, ein wahrer Proteus, entgegentrat und die verschiedensten Fragen einheitlich zu behandeln ermöglichte. Ähnlich giebt es nach Helmholtz auch ein Geschwindigkeitspotential, eine aus den hydrodynamischen Bewegungsgleichungen Leonhard Eulers (1707 bis 1787) einfach abzuleitende Größe, die dann, wenn sie vorhanden ist, über den Bewegungszustand der „idealen" Flüssigkeit entscheidet. Es ist nämlich alsdann die Bewegung eine strömende, und wenn das Geschwindigkeitspotential, nach den Koordinaten differentiiert, die Komponenten der Geschwindigkeit liefert, so sind letztere von der Zeit unabhängig, und die Strömung wird eine stationäre genannt. Dieser Begriff mußte hier definiert werden, weil er in der Geschichte der physikalischen Geographie nicht wohl umgangen werden kann.

Als wir weiter oben von der Reibung zwischen festen Körpern sprachen, da erwähnten wir, daß auch an den Grenzflächen zwischen solchen und Flüssigkeiten, sowie auch im Inneren dieser letzteren Reibungswiderstände auftreten. Im großen und ganzen sind für beide Modalitäten die Normen maßgebend, welche bereits Newton aufgestellt hat. Die Definition des Reibungskoeffizienten bleibt gewahrt, indem nur bemerkt werden muß, daß derselbe für äußere Reibung größer, wie für innere ausfallen wird, wenn nicht die Flüssigkeit zu den uns schon bekannten dickflüssigen gehört. Unter allen Umständen ist aber der Widerstand proportional der Größe der Reibfläche und der Differenz der Geschwindigkeiten zu beiden Seiten dieser Fläche. Eine einfache mathematische Analyse der bei der Flüssigkeitsreibung hervortretenden Erscheinungen ist 1894 von C. Christiansen (geb. 1843) gegeben worden.

Am stärksten wird die Reibung selbstredend bemerklich werden, wenn eine Flüssigkeit durch eine Röhre strömt. Die Ge-

setze, welche hier bestimmend sind, sind besonders von Magnus in den Jahren 1850 und 1855 aufgedeckt worden. Dabei erschien vor allem bemerkenswert, daß eine strömende Flüssigkeit minder stark auf die Rohrwandungen wirkt, als eine ruhende; der hydrodynamische Druck steht dem hydrostatischen nach. Ja, es kann sogar der Druck sein Zeichen ändern, in einen Zug übergehen, wenn nämlich irgendwo ein Stück der Wandung herausgenommen ist. So entwickeln sich eigenartige Aufsaugungserscheinungen, an deren Erforschung neben Magnus insbesondere auch v. Feilitzsch teilgenommen hat, und die nach und nach in verschiedenster Weise für praktische Zwecke nutzbar gemacht wurden. So beruhen auf der Thatsache, daß ausströmende Flüssigkeit andere tropfbar- und elastisch-flüssige Körper mit sich fortzureißen vermag, der 1859 von H. Giffard (1825—1882) erfundene Injektor der Dampfmaschine, durch den sein Erfinder in kurzer Zeit zum reichen Manne wurde; ferner K. F. Schimpers ziemlich gleichzeitig erfundener Zerstäubungsapparat, der von den Ärzten für Inhalationszwecke im ausgedehntesten Maße angewandt wird, und endlich Bunsens Wasserluftpumpe von 1869, die für ähnliche Apparate vorbildlich wurde. Auch hat K. W. M. Wibel (1808—1888) in Verbindung mit seinem Sohne F. Wibel 1873 von diesem Prinzipe des negativen Seitendruckes Gebrauch gemacht, um für das merkwürdige Karstphänomen der Meermühlen auf der jonischen Insel Kephallenia eine Erklärung zu geben. Dort stürzen nämlich ununterbrochen gewaltige Wassermassen, kräftig genug bewegt, um Mühlen zu treiben, in die Klüfte der Uferfelsen hinab, ohne daß sich eine Niveauänderung wahrnehmen, ohne daß sich aber auch über den Verbleib des Wassers etwas aussagen ließe; da nun jedoch die Quellen der Insel durchweg angesäuertes Wasser liefern, so nehmen die beiden Wibel an, daß das eingedrungene Meerwasser durch den negativen Seitendruck zu den aus höheren Horizonten herabsteigenden Süßwasser-Quellsträngen emporgehoben werde und deren normalen Inhalt in Brackwasser verwandle.

Es wäre begreiflicherweise von den Flüssigkeiten noch vielerlei zu berichten, allein einesteils werden wir durch die Erörterungen

über Molekularphysik und Atomistik an und für sich nochmals zu jenen zurückgeführt werden, und anderenteils scheiden wir einstweilen alle auf die Lösung fester Körper und auf die Osmose bezüglichen Fragen aus, weil diese u. a. in dem selbständigen Abschnitte der physikalischen Chemie ihre natürliche Stelle finden. Wir wenden uns mithin gleich der Lehre von den elastischen Flüssigkeiten zu. Wie schon angedeutet, hat die Technik des Luftauspumpens in der neueren Zeit beträchtliche Vervollkommnungen erlebt. Die alte Guericke-Methode hat freilich ebenfalls hieran teilgenommen, allein auf dem hier eingeschlagenen Wege konnte man zu einer völligen Beseitigung des sogenannten schädlichen Raumes, dessen Vorhandensein die gänzliche Evakuation unmöglich machen hilft, nicht gelangen; immerhin haben die neuen Hahnverschlüsse von J. G. Graßmann (1779—1852) und J. Babinet (1794—1872) die Verdünnung bis zu sehr hohen Graden zu treiben gestattet. Da aber doch der prinzipielle Gegensatz zwischen der nach der Natur der Dinge nur bedingten Guerickeschen Leere und der so gut wie absoluten Torricellischen Leere besteht, so erschien es wünschenswert, auch die letztere unmittelbar ausnützen zu können, um so mehr, da für die neueren Versuche über Glimmlicht u. s. w. Glasröhren, in denen außerordentlich verdünnte Gase eingeschlossen waren, zur Notwendigkeit wurden. So konstruierte denn der uns wohl bekannte Glasbläser Geißler, zunächst auf Anregung des mit dem Studium der Blutgase beschäftigten Physiologen K. F. W. Ludwig (1816—1895), die Quecksilberluftpumpe, zu deren Verbesserung später G. Ph. v. Jolly (1809 bis 1884) und A. J. J. Toepler (geb. 1836) mitgewirkt haben. Zwei Glasgefäße A und B stehen durch ein Glasrohr und durch einen Schlauch miteinander in Verbindung, und ein mit doppelter Bohrung versehener Hahn gewährt die Möglichkeit, A sowohl mit Luft als auch mit dem auszupumpenden Raume in Verbindung zu setzen. Aus dem Gefäße B läßt man durch den Schlauch Quecksilber nach A abfließen, bis letzteres Gefäß vollständig gefüllt ist; wird dann der Hahn gedreht und B gesenkt, so folgt dieser Senkung auch das in A befindliche Quecksilber, und darüber bildet sich eine Leere, die, mit dem Rezipienten verbunden, auch dessen Entleerung

bewirkt. Da diese Luftpumpe, im Gegensatze zu Bunsens oben erwähntem Aspirator, nur einen sehr kleinen Raum in Anspruch nimmt, so hat sie sich zumal in den chemischen Laboratorien unentbehrlich gemacht. Noch sicherer wird übrigens der Effekt, wenn man, wie dies neuerdings empfohlen wird, die Luft im Rezipienten förmlich mit Kohlensäure ausspült, d. h. abwechselnd Luft und Kohlensäure fortschafft und die letzten Reste letzterer von kleinen Stücken Ätzkali absorbieren läßt.

Die von Montgolfier und J. A. Charles ausgebildete Aëronautik war in den folgenden Jahrzehnten wenig gefördert worden; man ließ Luftballons in der alten Weise aufsteigen, konnte aber im übrigen nur ganz untergeordnete Vorteile erzielen. Zu höherer Wertschätzung erhob sich die Luftschiffahrt erst während des großen amerikanischen Bürgerkrieges, als man fand, daß die Beobachtung der feindlichen Bewegungen und Stellungen von hoher Warte aus, wie solche bereits siebzig Jahre vorher durch das Korps der „Aérostatiers“ von Meudon betrieben worden war, strategisch nützlich sei. Natürlich bedurfte man hierzu des Fesselballons („Ballon captif“), auf den sich jetzt die Aufmerksamkeit hauptsächlich konzentrierte. Im Jahre 1865 erfolgte die Stiftung der „Aëronautical Society of Great Britain“, 1868 diejenige der „Société aérostatique et météorologique de France“; man hatte also bereits erkannt, daß nur durch den Ballon die physikalischen Zustände der höheren Luftschichten gründlich erforscht werden können, und seitdem sind Luftschiffahrt und Meteorologie Hand in Hand gegangen, namentlich auch im Programme der zahlreichen deutschen Fachvereine, die sich seit den achtziger Jahren gebildet haben. Durch die Belagerung von Paris erfuhr die aëronautische Technik wieder mannigfache Verbesserungen, und manche der aus der blockierten Stadt abgelassenen Luftschiffe haben durch ihre Fahrten Aufsehen erregt, wie denn ein solches im Dezember 1870 den weiten Weg zwischen Paris und dem mittleren Norwegen in wenig über vierzehn Stunden zurücklegte. Fahrten zu spezifisch wissenschaftlichen Absichten, wie sie dereinst von Biot und Gay-Lussac ruhm- und erfolgreich unternommen worden waren, kamen um die Mitte des Jahrhunderts wieder in Auf-

nahme. Im Jahre 1850 erreichten J. A. Barral (1819—1884) und J. A. Bixio (1808—1865) die früher für unerreichbar gehaltene absolute Höhe von 6750 m, und bald nachher organisierte das früher erwähnte geophysikalische Institut den aëronautischen Dienstzweig vollkommener, so daß die 28 Hochfahrten, welche der unermüdliche J. Glaisher (geb. 1809), teilweise in Verbindung mit Coxwell, ausführte, und welche in einem Falle (5. September 1862) zu der — allerdings nicht mehr genau zu kontrollierenden — Höhe von über 10000 m emporgeführt haben sollen, wirklich ganz neue Einblicke in die Gesetze der vertikalen Verteilung von Temperatur und Feuchtigkeit geliefert haben. Der kühne Luftschiffer fiel bei diesem höchsten Aufstiege in Ohnmacht, und es hätte leicht zu einer verderblichen Katastrophe kommen können, wie sie am 15. April 1875 die Franzosen J. E. Crocè-Spinelli, Sivel und G. Tissandier (geb. 1843) wirklich ereilte. Sowohl die große Kälte, als auch der mit der Höhe immer kräftiger in die Erscheinung tretende Sauerstoffmangel, zu dessen Bekämpfung man sich seitdem der Einatmung aus mitgeführten Oxygenflaschen bedient, brachten den beiden erstgenannten in einer Höhe von 8000 m den Tod. Neuerdings stehen die Deutschen obenan in der Reihe der Aëronauten; G. Aßmann, H. Hergesell, F. Erk u. a. von der meteorologisch-wissenschaftlichen Seite, Moedebeck, Brug, v. Sigsfeld und eine Reihe anderer Offiziere der verschiedenen deutschen Luftschifferabteilungen wirken zusammen, um sowohl einerseits die Beobachtungsmethoden den speziellen Umständen besser anzupassen, wie auch andererseits die ohnehin schon sehr gemilderten Gefahren einer Hochfahrt noch mehr abzuschwächen und die Handhabung des Vehikels zu erleichtern. In Frankreich haben sich neben Tissandier, der den Fachgenossen das erste Geschichtswerk („Histoire des ballons et des aéronautes célèbres“, Paris 1887 bis 1890) zum Geschenke machte, W. de Fonvielle (geb. 1828) und der uns bekannte phantasievolle Astronom Flammarion durch erfolgreiches Aufsteigen hervorgethan. Aus neuester Zeit ist des Geologen A. Heim (geb. 1849) Überfliegen eines guten Teiles der Schweizer Alpen und eine Anzahl besonders kühner Hochfahrten seitens des Meteorologen O. Berson und des Hauptmanns

Groß zu nennen; am 11. Mai 1894 nahmen beide zusammen eine Höhe von 8000 m, die also schon nahe an diejenige des höchsten Berges der Erde, des Gaurisankar im Himalaya, heranreicht, und der 4. Dezember des gleichen Jahres hatte die größte Leistung zu verzeichnen, die bisher einem Menschen geglückt ist; Berson drang bis 9150 m vor und maß hier einen Thermometerstand von — 47°. Sehr viel höher wird sich wahrscheinlich nicht gelangen lassen, weil eben die Existenzbedingungen für den menschlichen Organismus nicht mehr erfüllt sind. Durch die Abschaffung des Ankers, sowie durch die Erfindung der Reißleine, welche aus der Wand des Ballons ein sphärisches Zweieck jäh loszulösen und damit den Abstieg unverhältnismäßig sicherer zu gestalten erlaubt, ist den Luftfahrten die früher immerhin nicht ganz zu leugnende Gefährlichkeit so gut wie gänzlich genommen worden. Auch hat man die lange Zeit recht viel zu wünschen übrig lassende Ortsbestimmung auf dem treibenden Ballon vorzunehmen gelernt, und nachdem S. Finsterwalder (geb. 1862) die Photogrammetrie soweit ausgebildet hat, daß mit ihrer Hilfe eine sehr exakte Vermessung des überflogenen Terrains erfolgen kann, hat auch die Geographie an dieser Technik, die dereinst nur einen rein sportlichen Charakter zu besitzen schien, lebhaften Anteil zu nehmen begonnen. Es giebt jetzt nicht weniger denn sieben Fachorgane in französischer, englischer und deutscher Sprache; letztere sind die unter der Ägide der Berliner Gesellschaft erscheinende „Zeitschrift für Luftschiffahrt und Physik der Atmosphäre“ und die von R. Emden (geb. 1862) redigierten „Illustrierten aëronautischen Mitteilungen“. Ein Lehrbuch von Wert, das freilich durch die modernsten Erfindungen schon wieder einigermaßen überholt ist, hat 1886 Moedebeck geschrieben; ihm folgte 1895 ein sehr brauchbares „Taschenbuch“. Im wichtigsten Punkte freilich steht die Lufttechnik heute noch völlig auf dem Standpunkte, den auch die ersten Erfinder des Ballons einnahmen. Irgendwelche Lenkbarkeit des Ballons ist zur Zeit noch ein frommer Wunsch: sobald man sich nicht mit dem Fesselballon begnügt, muß man das Fahrzeug einfach dem Winde überlassen. Dies bringt freilich die Annehmlichkeit mit sich, daß die Insassen der Gondel nicht die

allermindeste Empfindung von den Bewegungen derselben bekommen, weil sie eben ein Teil der bewegten Atmosphäre geworden sind, aber dafür muß man sich jedweder Beeinflussung des Ballons in horizontaler Richtung begeben, und da die Bewegung der oberen Luftschichten nicht selten in einem ganz anderen Sinne vor sich geht, als tiefer unten, so ist es ein günstiger Zufall zu nennen, wenn der Luftreisende wenigstens ungefähr in der Gegend abgesetzt wird, welche zu erreichen er sich vorgenommen hatte. Vertikale Bewegungen kann man einleiten, denn beim Ziehen an der Ventilschnur sinkt und beim Auswerfen des mitgenommenen Ballastes steigt der Ballon. Die Bestrebungen, gegen den Wind ankommen und einem gegebenen Ziele zusteuern zu können, datieren schon aus dem Anfangsstadium der Flugtechnik. In den Jahren um 1810 war viel die Rede von einer Flugmaschine des Wiener Uhrmachers J. Degen (1756—?), die anfangs ihren Erfinder in den Stand gesetzt haben soll, sich ungefährdet von größeren Höhen herabzulassen, die aber, nachdem 1813 ein zu Paris unternommener Versuch unglücklich verlaufen war, bald sogar dem Gedächtnis der Mitmenschen entschwand. Später trug man sich mehrfach mit der Idee, es müsse sich der Vogelflug durch mechanische Vorrichtungen nachahmen lassen, allein diese Hoffnung schwand, als nach und nach, auf der Basis der 1680 in A. Borellis klassischem Werke „De motu animalium“ entwickelten Theorien, eine Reihe teils mehr die mathematisch-physikalische, teils mehr die physiologische Seite des Problemes berücksichtigender Untersuchungen erschien. Solche hat man von J. E. Silberschlag (1721—1791) (1781), von J. N. Fuß (1755—1826) (1799), J. J. Prechtl (1778—1854) (1805 und 1846), Muncke (1827), E. J. Marey (geb. 1830) (1874), Pettigrew (1875), v. Parseval (1889) und O. Lilienthal (geb. 1848) (1889). Dieser letztere, ein hervorragend tüchtiger Ingenieur, verband seine theoretischen Spekulationen mit ausgedehnten Versuchen, deren Anordnung eine so glückliche war, daß eine wirkliche Förderung der aëronautischen Praxis in naher Aussicht zu stehen schien. Allein der durchgehende Fehler aller dieser Mechanismen, zu geringe Stabilität, stürzte (1896) den genialen Erfinder ins Unglück; seine Maschine überschlug sich mit ihm, und er selbst

erlag den hierbei erlittenen Verletzungen. Indem wir den chronologischen Faden wieder aufnehmen, erinnern wir nur kurz an das Daedaleon des streitbaren Polemikers F. v. Drieberg (1785 bis 1856), der von 1841 bis 1852 einen erbitterten Don Quixote-Kampf gegen die Lehre vom Drucke des Wassers und der Luft führte und seinen Flugapparat als ein triftiges Beweismittel für seine Lehre vorzuführen gedachte; er verlangte zwar nur, daß einige kräftige Männer dem in seiner Maschine steckenden Luftschiffer durch einen Wurf die erforderliche Anfangsgeschwindigkeit erteilen sollten, und dieser Forderung wäre doch am Ende unschwer zu genügen gewesen, allein trotzdem hat man niemals etwas von der Verwirklichung des groß angelegten Planes vernommen.

Allmählich erkannte die systematische Forschung, daß viererlei Arten von lenkbaren Luftschiffen im Bereiche des Denkbaren gelegen sind: Schraubenflieger, Drachenflieger, Flügelflieger und Wellenflieger; von diesen haben die Maschinen der ersten Art die meiste Gewähr wirklicher Ausführbarkeit von je geboten und bieten sie noch. Seitdem man es versteht, den Tragkörper, statt mit Leuchtgas, mit dem spezifisch so sehr viel leichteren Wasserstoffgase zu füllen, welches in Eisenbehältern beliebig transportiert werden kann, besitzt das Fahrzeug eine viel bedeutendere Steig- und Tragfähigkeit, und man kann viel eher daran denken, einen kleinen Motor zur Erzeugung selbständiger Bewegungen mitzunehmen. Als solche hat man Gas- und Dynamomaschinen in Vorschlag gebracht, nachdem die von Giffard 1854 angewandte Dampfmaschine sich als ungeeignet erwiesen hatte. Aëronautische Schraubenpropeller konstruierten 1872 S. C. P. L. Dupuy de Lôme (1816—1885), unmittelbar darauf F. Haenlein (1872), Tissandier (1883) und vor allem die beiden französischen Offiziere Renard und Krebs (1884), welche die weitaus größte Triebkraft — 9 auf die Welle wirkende Pferdestärken — aufzubieten vermochten. In der geschlossenen, strömungsfreien Luft eines Reithauses hat dieser Luftpropeller sich gut bewährt, aber zur eigentlichen Freifahrt war er schließlich doch unzulänglich, denn während bei schwächerem Winde die „France" noch immer einen hohen Grad freier Beweglichkeit bekundete, verlor

sie diese, wenn die Windgeschwindigkeit die Eigengeschwindigkeit übertraf, und zudem hörte die Leistung der von Renard eigens zusammengestellten Chlorchromsäurebatterien, deren elektromotorische Kraft sich in ponderomotorische umzusetzen hatte, nach wenig mehr denn einer Viertelstunde auf. Die Versuche von Maxim (1893), Phillips und Hargrave, Stengel und Wellner, die sämtlich in die neunziger Jahre fallen, sind ebenso interessant, wie vielverheißend; aber selbst das Wellnersche Modell, dem allseitig eine große Zukunft in Aussicht gestellt ward, hat die Ausführung im Großen noch nicht erlebt. Um die Jahrhundertwende konzentrierte sich die Aufmerksamkeit von Fachmännern und Laien auf die großartige, mit äußerstem Aufwande von Scharfsinn und Kosten ins Werk gesetzte Unternehmung des Grafen Zeppelin, der, aus dem 1870er Kriege durch eine kecke Reiterthat bekannt genug, seit langen Jahren an der Realisierung der ihm vorschwebenden Pläne arbeitete und endlich soweit gelangte, den sonderbar gestalteten Flugkörper, der in einer für 200000 Mark erbauten Ballonhalle am württembergischen Ufer des Bodensees zusammengestellt worden war, dem Elemente, für welches er bestimmt ist, zu übergeben. Um den Widerstand der Luft möglichst zu paralysieren, setzte der Erfinder den einer ungeheuren, 128 m langen Zigarre gleichenden Leib seines Flugapparates aus 17 Kammern zusammen, in deren Aluminiumgeflechte je ein besonderer Ballon untergebracht ist; die Dicke des Gitterwerkes beträgt nur 180 mm, und wenn man sich der Geringfügigkeit der Dichte des Aluminiums erinnert, so wird man sofort gewahr, daß dieser Kombination ein gewaltiger Luftauftrieb eigen sein muß. Jeder Teilballon hat sein eigenes, automatisches Sicherheitsventil, so daß folglich die Gefahr des Zerspringens so gut wie ganz ausgeschlossen erscheint. Was die an sich kleinen Schrauben anlangt, so sind es ihrer zwei, am Vorderende eine vier- und am Hinterende eine dreiflügelige, die Umdrehungsgeschwindigkeit kann bis zu einer Tourenzahl von 1200 in der Minute gesteigert werden. Der Berechnung nach soll sich der Ballonriese eine volle Woche frei schwebend erhalten können. Der erste Aufstieg, zu Anfang Juli 1900, war als gutes Omen zu nehmen und hat die Möglichkeit einer Lenkung bei ruhiger Luft

außer Zweifel gesetzt, während die folgenden Versuche zwar einen wertvollen Achtungserfolg erzielten, ausschweifende Hoffnungen auf weitgehende Verwendbarkeit des Ungetüms jedoch nicht ermutigten. Auf eine praktisch ins Gewicht fallende Nachfolgerschaft kann angesichts solcher Dimensionen wohl noch für lange nicht gerechnet werden, und zudem wird stets viel Mut dazu gehören, sich einer Fahrgelegenheit anzuvertrauen, die ein außerordentlich geschultes und zuverlässiges Personal voraussetzt, ohne doch selbst dann volle Gewähr gegen unvorhergesehene Unfälle bieten zu können. Das tragische Ende, welches 1898 der Berufsluftschiffer Schwartz auf dem Tempelhofer Felde nächst Berlin fand, wird immer ein memento mori für den unternehmenden Menschen bilden, der des Icarus Schicksal herauszufordern scheint. Für eigentliche Luftreisen könnte aber einzig und allein das lenkbare Luftschiff eine günstigere Perspektive eröffnen. Wie wenig Verlaß auf den gewöhnlichen Ballon ist, auch dann, wenn Schleppseile dessen Bewegung bis zu einem gewissen Grade zu korrigieren gestatten, hat uns das Schicksal des opfermutigen Schweden Andrée gezeigt, der 1896 mit seinen beiden Genossen die Fahrt ins Zirkumpolarterritorium gewagt hat und gänzlicher Verschollenheit anheimgefallen ist.

Es lag oben die Notwendigkeit vor, auf den Luftwiderstand, als auf ein einflußreiches Bewegungshindernis, hinzuweisen. Schon das 18. Jahrhundert hatte sich mit diesem Gegenstande beschäftigt, aber erst seit der Mitte des folgenden traten Experiment und Theorie in das richtige Gegenseitigkeitsverhältnis zueinander. Wiederum war es Magnus, der (1853) die Beeinflussung von Schleuderkörpern und Geschossen durch das umgebende Medium studierte und die eigentümlichen Oszillationsbewegungen feststellte, denen ein Projektil unterliegt, je nachdem es durch rechts oder links gewundene Züge hindurchgegangen ist. Die wissenschaftliche Ballistik, welche um diese Zeit mit der angenäherten Lösung der Aufgabe, die Abweichung der Wurfbahn von der im luftleeren Raume beschriebenen Parabel zu ermitteln, bereits ziemlich weit gekommen war, wurde durch diese neuen Untersuchungen besonders nahe berührt. Man müßte, gäbe es bloß theoretische Rücksichten, den Langgranaten am besten die Form eines Rotationskörpers

des kleinsten Widerstandes verleihen; die einschlägigen Berechnungen wurden zuerst von dem schwedischen Admirale F. H. v. Chapman (1721—1808) vorgezeichnet, und ihm folgten 1866 Grunert, 1887 F. W. A. August (1840—1899) und um dieselbe Zeit A. G. Greenhill (geb. 1847). Zur Erforschung des Maßes, in welchem die von dem bewegten Körper verdrängte Atmosphäre dessen Bewegung verzögert, gab K. H. Schellbach (1805—1892) einen zweckdienlichen Apparat an, mit dessen Hilfe M. F. Thiesen (geb. 1849), dem auch eine Theorie des Windstoßes zu danken ist, umfängliche Bestimmungen vornahm. Eine neue, sehr gründliche Arbeit über Luftwiderstand rührt ferner (1880) von G. F. Recknagel (geb. 1835) her, der auch sonst noch zum öfteren auf diese vielgestaltige Aufgabe zurückgekommen ist. Man darf sich noch lange nicht am Ziele glauben, denn noch immer ist die analytische Behandlung der Bewegung krummflächig begrenzter Körper in der Luft mit mancherlei Schwierigkeiten verknüpft; so gelang es noch nicht, die Bewegungsverhältnisse des originellen Wurfholzes Bumerang ganz befriedigend zu erklären, welches bei den australischen Wilden und, in minder vollkommener Form, bei vorderindischen und amerikanischen Naturvölkern, zu den meist gebrauchten Waffen gehört. Die wissenschaftliche Ballistik ist in neuerer Zeit besonders durch General v. Otto, Siacci, Mieg und allerneuestens durch K. Crantz zur selbständigen Wissenschaft erhoben worden.

Nächst dem Luftwiderstande kommt auch die Reibung der Gase als ein verzögernder Faktor in Betracht. Auch sie kann, nicht minder wie bei den tropfbaren Flüssigkeiten, eine äußere und innere sein, und auch das oberste Gesetz, von welchem sie sich abhängig zeigt, ist das gleiche geblieben. Der Lehre von der Gasreibung näher zu treten, ergab sich Veranlassung, als Graham zu Anfang der fünfziger Jahre den Ausfluß der Gase aus Kapillarröhren näher untersuchte und fand, daß hier kein allgemein giltiges Gesetz vorliege, sondern daß die besondere Natur der strömenden elastischen Flüssigkeit einen gewissen Einfluß äußere. Die Meinung J. C. Jamins (1818—1886), es liege ein ganz ähnlicher Vorgang, wie bei der Diosmose der Gase, in Mitte,

fand um so weniger Anklang, als bald darauf (1857) Bunsens bahnbrechendes Werk „Gasometrische Methoden" erschien, worin die Gasbewegung ohne Zuhilfenahme jener besonderen elektrischen oder molekularen Kräfte, an welche Jamin appellieren zu müssen vermeint hatte, nach den stets giltigen mechanischen Sätzen abgehandelt und einer neuen Auffassung sowohl der Reibung als auch der Adhäsion und Absorption der Gase vorgearbeitet wurde. Theoretische Betrachtungen über die Notwendigkeit, die innere Reibung auch bei der Herleitung der aërodynamischen Grundgleichungen zu berücksichtigen, stellte Stokes 1851 an. Doch fehlten noch Hilfsmittel, um die fraglichen Reibungskoëffizienten auch numerisch auszudrücken, und es wurden solche erst 1866 gleichzeitig, aber unabhängig, von Maxwell und O. E. Meyer nachgewiesen, und zwar bedienten sich beide, wie dies seinerzeit schon Coulomb angedeutet hatte, einer Scheibe, die an einem tordierten Faden hing und, indem dieser wieder den Normalzustand seiner Fasern herzustellen bestrebt war, sich um ihren Mittelpunkt zu drehen gezwungen wurde. Neben der beschleunigenden Kraft der Torsion machte sich dann als einzige retardierende die innere Gasreibung geltend; denn die Reibung findet nicht etwa, wie man zunächst anzunehmen versucht sein könnte, zwischen Gas und Festkörper, sondern zwischen ruhendem und bewegtem Gase statt, weil der Scheibe eine dünne Gasschicht fest adhäriert. So fand sich, daß Dichte und Druck den Koëffizienten der inneren Reibung nicht bestimmen — ein anfänglich überraschendes Ergebnis, das aber nach Meyer völlig mit den Folgerungen, die aus der kinetischen Theorie der Gase zu ziehen sind, übereinstimmt. Um die weitere Ausbildung der Experimentalmethoden sowohl als auch der mathematischen Untersuchungsmittel haben sich die beiden Österreicher A. v. Obermayer (geb. 1844) und J. Puluj (geb. 1845) entschiedene Verdienste erworben. Ersterer errang sich den Baumgartnerschen Preis der Wiener Akademie durch seine Darlegung des Verhältnisses, in welchem sich mit der Temperatur der Reibungskoëffizient der Gase ändert; auch Puluj bearbeitete das nämliche Problem und erweiterte das ganze Arbeitsfeld noch (1878 und 1879) durch die Feststellung der spezifischen Eigentümlichkeiten,

die sich bei der internen Reibung in Dämpfen und Gasgemischen bemerklich machen.

Inwieweit durch die innere Reibung innere Flüssigkeitsbewegungen translatorischen und rotatorischen Charakters ausgelöst oder doch kraftvoll beeinflußt werden können, ist zur Zeit noch eine offene Frage. Zumal die Strömungserscheinungen werden noch viele Geister beschäftigen, sei es, daß man sie nach Maßgabe der theoretischen Betrachtungen weiter erforscht, die in einer 1854 erschienenen, viel zu wenig bekannt gewordenen Monographie D. P. du Bois-Reymonds (1831—1889) enthalten sind, sei es daß man allein das Experiment sprechen läßt. In der erwähnten Schrift erscheint zumal der auch für die Geophysik Fingerzeige darbietende Satz bemerkenswert, daß ein Flüssigkeitsstrom stets nach dem Orte des größten Trennungswiderstandes hin abgelenkt wird. Obwohl zunächst für tropfbare Flüssigkeiten bewiesen, wird derselbe doch auch für Gase in seiner Wahrheit bestehen bleiben.

Mit den verschiedenen Untersuchungen über Bewegungen in den Gasen steht auch die Frage im Zusammenhange, wie man sich die Beschaffenheit der von starren Körpern oder Flüssigkeiten aufgeschluckten Gase vorzustellen habe. Mitscherlich hatte 1844 die Vermutung ausgesprochen, da der eindringende Körper in den Poren desjenigen, der ihn zeitweise oder dauernd beherbergt, eine Verdichtung erfahre, so befinde sich das absorbierte Gas mutmaßlich in einem flüssigen Zustande. Aus den 1853 vorgenommenen Versuchen von Favre und Silbermann schien zu folgen, daß die Dichte der Gasschicht sehr groß, ja groß genug sei, um eine ganz besondere Molekularbeschaffenheit der elastischen Flüssigkeiten in solchem Falle wahrscheinlich erscheinen zu lassen. Durch die von H. Kayser (1881) und Bunsen (1883) eingeführte neue Versuchsanordnung wurde eine wesentlich erweiterte Möglichkeit, das Studium der Adhäsionsphänomene zu betreiben, geschaffen. Man bediente sich der außerordentlich dünnen Glasfäden, die in der Glasflechterei gebraucht werden, und die bei größter Längenausdehnung nur ein Minimum von Oberfläche und Kubikinhalt besitzen. Aus seinen Beobachtungen zog Bunsen den Schluß,

daß ein stationärer Zustand der Gasverdichtung, wenn überhaupt, so erst nach Umfluß einer sehr langen Zeit erreicht werden könne, daß aber Druck- und Temperaturänderungen keinen wesentlichen Einfluß auf den einmal erreichten Adhäsionszustand ausübten. Mit Fug ist man zugleich darauf verfallen, von der eigentlichen Absorption, kraft deren Gasteile in das Innere des absorbierenden Körpers gelangen, die als eine reine Oberflächenerscheinung zu definierende Adsorption zu unterscheiden, deren Gesetze namentlich W. Müller-Erzbach (geb. 1839) untersucht hat. Seinen Untersuchungen von 1891 zufolge wirkt die Adsorption sogar, dem Magnetismus und der neuerdings erforschten strahlenden Energie vergleichbar, durch eine — selbstredend sehr dünne — Fremdkörperschicht hindurch, welche für die „molekularen Kraftstrahlen" kein Hindernis darstellt. Ob man im Rechte ist, deshalb wirklich schon von der Fernewirkung einer Molekularkraft zu sprechen, mag dahingestellt bleiben, da doch eine Übermittlung des Impulses von Teilchen zu Teilchen nicht ganz ausgeschlossen erscheint. Jedenfalls ist aus allem zu folgern, daß selbst die undurchlässigsten, wenigst porösen Stoffe für Gase, und zwar auch für solche in liquidifiziertem Zustande, nicht völlig impermeabel sind, daß aber der Widerstand, der dem Eindringling entgegengesetzt wird, mit der Entfernung von der Oberfläche, und also auch mit der Zeit, sich steigert. Weiteres gehört bereits ganz und gar in die eigentliche Molekularphysik.

Was die Ausströmung der Gase anlangt, so hat man sich überzeugen müssen, daß dieselbe eine vielfach andersartige wird, wenn der Druck, unter dem das Gas steht, sehr hohe Werte annimmt. Es erhellt dies schon daraus, daß der bei Gasstrahlen, ebenso wie bei Flüssigkeitsstrahlen, hervortretende Kontraktionskoëffizient, wie A. F. Fliegner (geb. 1842) in seinen von 1871 an durchgeführten Versuchen feststellte, einerseits von der Größe der Mündung, wie andererseits vom Verhältnisse der äußeren zur inneren Pressung abhängt, und wenn mithin letztere über das normale Maß hinaus wächst, so können die Konsequenzen nicht ausbleiben. Seit man sogenannte Druckluftanlagen besitzt, kann man die Bedingungen des Ausströmens der ungemein stark kom-

primierten Luft mit größerer Sicherheit und Bequemlichkeit ermitteln, so wie dies Recknagel — an der Hand der großartigen maschinellen Einrichtungen der Firma Riedinger in Augsburg — und R. Emden (1899) wirklich gethan haben. Wie ein solches Druckluftreservoir herzustellen sei, erläuterte Gutermuth im Jahre 1892, indem er dabei die Verhältnisse der Stadt Offenbach als Beispiel wählte. Komprimierte Luft ist, von ihrem physikalischen Interesse abgesehen, der mannigfachsten technischen Verwendungen fähig. Schon in den vierziger Jahren hatte man in England atmosphärische Eisenbahnen gebaut, indem man das Vehikel, welches Menschen oder Pakete beförderte, in einen genau anschließenden Zylinder einfügte und durch einseitigen Druck mit großer Geschwindigkeit durch die Röhre hindurch beförderte. Die Rohrposten großer Städte arbeiten noch heute völlig nach dem gleichen Systeme. Aber auch Passagiere wurden zuerst 1864 in Rammells Druckluftbahn durch den Park des Sydenhamer Krystallpalastes gefahren, und auch in Amerika hat diese Art der Beförderung Nachahmung gefunden. Dagegen ist man seitens der Schweizer Ingenieure nicht an die Verwirklichung des Planes herangetreten, welchen E. Locher für eine zum Gipfel der Jungfrau führende pneumatische Bahn entworfen hatte, sondern entschied sich für die — jetzt in der Ausführung begriffene — Kombination von Zahnrad- und Adhäsionsbahn. Die pneumatische Kraftübertragung findet ihre Stätte, wenn es gilt, kleinen gewerblichen Betrieben von einer Zentrale aus billige Kraft zuzuführen, ferner bei bergmännischen Fördermaschinen, bei Taucherglocken und beim Einsenken von Caissons zum Unterwasserbau, vor allem aber bei der Tunnelbohrung, wo sich allerdings jetzt die direkt verflüssigte Luft der bloß verdichteten den Rang abzulaufen anschickt. Freilich geht durch Undichtwerden der Röhren und andere störende Umstände sehr viel Energie für den beabsichtigten Zweck verloren, aber während noch bei der Durchbohrung des St. Gotthard die Kompressoren nur etwa den halben Wert des theoretisch bestimmten Effektes als thatsächlichen Nutzeffekt lieferten, ist durch die Bemühungen A. Riedlers, eines der ersten unter den Maschineningenieuren der Neuzeit, das Verhältnis ganz erheblich

günstiger gestaltet worden, und gegenwärtig steigt die geleistete Nutzarbeit bis zu 87 Prozent an. Wenn trotzdem die technisch-volkswirtschaftliche Ausnützung der Druckluft nicht ganz in dem Maße zugenommen hat, wie man dies anfangs voraussagen zu dürfen geglaubt hatte, so liegt dies an der noch weit rapideren Vervollkommnung der von der modernen Elektrotechnik zur Verfügung gestellten Hilfsmittel.

Wie innig die Verbindung zwischen mechanischen und kalorischen Prozessen ist, wurde in unserem elften Abschnitte ausführlich dargethan, und wir haben auch in jenem die Geschicke der neu entstandenen, wiewohl bereits durch Rumford, Carnot und Clapeyron vorbereiteten mechanischen Wärmetheorie während des fünften und sechsten Dezenniums des 19. Jahrhunderts verfolgt. Hier hat also unsere weitere Darstellung einzusetzen. Zunächst ist daran zu erinnern, daß noch immer ein weites Gebiet vorlag, auf dem auch jene — zwar nicht alte, aber doch ältere — Auffassung, welche in der Wärme schlechthin eine Wellenbewegung des Äthers erblickte, ohne sich auf irgend welche atomistische Interpretation der Erscheinungen einzulassen, reiche Bethätigung fand. Die schönen Versuche Mellonis nahm K. H. Knoblauch auf, und in vierzigjähriger, unermüdlicher Arbeit zeigte er, daß die strahlende Wärme alle integrierenden Eigenschaften mit dem Lichte gemein hat. Teilweise seinem großen Vorbilde, sowie J. E. Bérard (1789—1869) und J. D. Forbes folgend, wies er Brechung, Beugung, Polarisation und Doppelbrechung als vorhanden nach und gab die ersten genauen, numerischen Angaben über die Absorptionsverluste, welche ein Wärmestrahlenbündel bei seinem Durchgange durch eine Platte von bestimmtem Stoffe und gegebener Dicke zu erleiden hat. Daß auch eine Drehung der Polarisationsebene strahlender Wärme unter elektromagnetischer Einwirkung zustande kommen kann, hat Grunmach (1881) gezeigt. Inwieweit Steinsalz, der ohne Zweifel mindest stark verschluckende unter allen bekannten Stoffen, als absolut diatherman anzusehen sei, war Gegenstand einer Meinungsverschiedenheit zwischen Knoblauch und Magnus. Die Austragung derselben fällt in die sechziger Jahre; ersterer hielt die

Diathermansie für gesichert, während sein Widerpart das im zwölften Abschnitte besprochene Kirchhoffsche Gesetz von der Beziehung zwischen Emission und Absorption auch auf die Wärmelehre übertrug und das anscheinend minimale Verschluckungsvermögen darauf zurückführte, daß Steinsalz nur eine ganz bestimmte Art von Wärmestrahlen, die unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht so leicht zur Beobachtung gelangten, in sich zurückhalte. Die Wahrnehmungen, welche F. H. de la Provostaye (1862 bis 1863) und P. Q. Desains (1817—1885) machten, lassen sich eher mit dem Magnusschen Ergebnisse vereinbaren. Übrigens giebt es, wie nachher R. Franz und Tyndall bewiesen, nicht minder auch relativ diathermane Flüssigkeiten, und bei einfachen Gasen ist überhaupt der durch innere Bindung erfolgende Intensitätsverlust der Wärmestrahlen ein unbedeutender. Sogar die Dämpfe besitzen einen hohen Grad von Durchgängigkeit für strahlende Wärme, und wenn Tyndall dies besonders für Wasserdampf in Zweifel zog, so darf man wohl mit Magnus und H. Buff (1805—1878), der seit 1876 diese Fragen zusammenhängend bearbeitete, als Grund für die auch bei jener Dampfgattung zu Zeiten hervortretende, stärkere Absorption den Umstand verantwortlich machen, daß sich im Apparate selbst bereits eine Kondensation zu feinen Wassertropfen angebahnt hatte.

Daß Strahlung und Leitung der Wärme zwei durchaus verschiedene Vorgänge seien, war seit der Zeit, da Leslie seine bekannten Grundversuche angestellt hatte, eine unwidersprochene Sache. Die Wärmeleitung in festen Körpern hatte man theoretisch — nach Fourier und Poisson —, sowie experimentell gründlich studiert, aber freilich war man dabei von der Annahme ausgegangen, daß der in Betracht gezogene Körper isotrop sei, daß sich also der Wärmeimpuls nach allen Seiten ganz gleichmäßig fortpflanze. In Krystallen verhält es sich anders; die Fläche, bis zu welcher die Wärme von einem gegebenen Ausgangspunkte aus in gleichen Zeiten fortgeleitet wird, ist im allgemeinen keine sphärische mehr. Hierüber Klarheit zu erhalten, erfanden H. H. de Sénarmont (1808—1862) und P. M. E. Jannetaz (geb. 1832), dieser mit besonderer petrographischer Beziehung auf

die geognostisch bedeutsamen Gesteinsarten, einfache und direkt zum Auge sprechende Methoden. Man schneidet aus dem zu prüfenden Krystalle eine dünne Platte heraus, überzieht dieselbe mit einer dünnen Decke von Wachs oder Paraffin und führt nun einem zentral gelegenen Punkte durch einen Gummischlauch erwärmte Luft zu. Dann schmilzt der Überzug, und die Schmelzfigur giebt darüber Aufschluß, wie sich die einzelnen Richtungen hinsichtlich der Wärmeleitungsfähigkeit verhalten. Die betreffenden Flächen stimmen nach V. v. Lang (geb. 1838), von geringfügigeren Abweichungen abgesehen, mit den Wellenflächen der Krystalloptik überein.

Die Flüssigkeiten sind schlechte Wärmeleiter, allein trotzdem kann sich die Erwärmung solcher Teile der flüssigen Masse, welche von der Wärmequelle ziemlich weit entfernt sind, unerwartet rasch vollziehen. Neben Strahlung und Leitung hat man eben, wie besonders P. O. E. Volkmann (geb. 1856) betont, auch die Konvektion zu berücksichtigen; geschieht die Wärmezuführung von unten her, so entsteht eine geschlossene Zirkulationsbewegung, indem die erwärmten und spezifisch leichter gewordenen Teilchen in die Höhe steigen, während an die von ihnen verlassene Stelle kältere Teilchen von allen Seiten herandrängen, die hierauf gleichfalls der nach oben führenden Tendenz unterliegen. Die Warmwasserheizung, deren Ausbildung mit dem Namen des amerikanischen Mechanikers J. Perkins (1766—1849) verknüpft ist, macht von diesem Prinzipe umfassendsten Gebrauch. Exakt bestimmten die innere Leitungsfähigkeit zu Beginn der fünfziger Jahre Franz und G. H. Wiedemann (1826—1899), indem sie die Thermoelektrizität als auslösende Ursache in Kraft treten ließen; aber die flüssigen Körper spielten einstweilen noch eine sehr bescheidene Rolle. Was die Leitungsfähigkeit der wichtigsten Flüssigkeit, des Wassers, anlangt, so beträgt dieselbe nur 0,09; sie ist also nahezu 1000mal geringer, als diejenige des Silbers, welches in dieser Beziehung obenan steht. Über das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten für Elektrizität wurden zumeist Untersuchungen gleichzeitig mit solchen, die die Wärme betrafen, angestellt; A. Paalzow (geb. 1823), F. Guthrie (1833—1886), K. G. Lundquist (geb.

1841), A. A. Winkelmann (geb. 1848) zeigten sich in diesem Sinne thätig. H. F. Weber (geb. 1843) schlug vor, als die maßgebende Größe das von ihm eingeführte Temperaturleitungsvermögen einzuführen, das man erhält, wenn man die Leitungsfähigkeit durch die spezifische Wärme der Volumeneinheit dividiert. Es fand sich, daß diese neue Größe fast als eine Konstante erscheint, die nur bis zu einem gewissen Grade durch die Viskosität, die größere und geringere Zähigkeit, bedingt ist. Es versteht sich von selber, daß die Fähigkeit, Wärme oder Temperatur zu leiten, auch von der Temperatur abhängig ist. Nur das Quecksilber nimmt eine Ausnahmestellung ein, und es ist demnach, wie es ja auch bei der so verschiedenen molekularen Zusammensetzung erwartet werden durfte, die erwähnte Befähigung, die Wärmeschwingung von einer Partikel zur anderen zu übertragen, von dem metallischen oder nicht metallischen Charakter des Fluidums abhängig. Nach Weber müßte der inneren Strahlung ein erhöhtes Gewicht beigemessen werden, und damit wäre zugleich erwiesen, daß zwischen den beiden Leitungsfähigkeiten für Wärme und Elektrizität ein sehr naher, innerlicher Verband obwalte.

Schlechte Wärmeleiter sind auch die Gase. Formeln für dieselben leiteten Maxwell (1860) und Clausius (1862) her, und zwar kamen sie darin überein, daß das Wärmeleitungsvermögen sowohl dem Koëffizienten der inneren Reibung, als auch der spezifischen Wärme bei konstantem Volumen proportional sein muß. Aus den Experimenten von Magnus ergab sich wenigstens für Wasserstoff ein positives Resultat, und auch für andere Gase, vorab für gewöhnliche Luft, erhielt F. G. Narr (1844—1893) annehmbare Zahlwerte, obwohl er sich allerdings des von Bedenken nicht ganz freien, auf Newton zurückgehenden Verfahrens bedient hatte, aus der Abkühlungszeit eines erhitzten Gases die fragliche Größe zu berechnen. Die Grundidee der Methode, mit dem ja auch Dulong und Petit operiert hatten, ist aber eine berechtigte, und J. Stefan (1835—1893) war 1872 in der Lage, die Methode so vervollkommnen zu können, daß er selbst, sowie A. A. E. Kundt (1839—1894) und E. G. Warburg (geb. 1846) im Jahre 1875, zu befriedigenden Zahlwerten gelangten. Boltz-

mann machte zwar die Bemerkung, daß die mechanische Wärmetheorie in ihrer überlieferten Form nicht ausreiche, um das Problem der Molekularübertragung endgiltig lösen zu können, allein durch eine Rückwärtsrechnung, die sich auf Stefans numerische Resultate stützte, vermochte er nachträglich die Berechtigung der Maxwell-Clausiusschen Theorie zu belegen. Eine sehr große Anzahl von Versuchsreihen zeigt, wieviel Fleiß aufgewandt wurde, um die Wärmeleitung der atmosphärischen Luft genau zu ermitteln. Zu denen, deren bereits Erwähnung geschah, traten die Arbeiten von L. Graetz (geb. 1856), M. Kutta und Egon Müller (1896) hinzu. Die neueste Bestimmung (1896) lieferte den Wert 0,000056. Diese Zahl will also folgendes besagen: Wenn die Endflächen eines Luftprismas von gegebener Höhe einen gewissen Temperaturunterschied aufweisen, so ist die Wärmemenge, welche in der Zeiteinheit vom wärmeren zum kälteren Ende übergeht, gegeben durch eine Größe, die man erhält, wenn man in das Produkt Temperaturdifferenz mal 0,000056 mit der Höhe hineindividiert. Die Fähigkeit, Wärme zu leiten, ist übrigens nicht, wie man ursprünglich angenommen hatte, von der Temperatur unabhängig, so wenig wie die spezifische Wärme, von welcher ersteres Vermögen selbst wieder abhängt. Zum mindesten für mehratomige Gase war E. Wiedemann (geb. 1852) ein Anwachsen der spezifischen Wärme mit der Temperatur zu konstatieren in der Lage. Es ist dies neuerdings auch anderweit, so von Sohncke, bestätigt worden, und wenn man also von der Wärmemenge spricht, deren es bedarf, um die Gewichtseinheit eines Stoffes, ein Kilogramm, um einen Grad des hundertteiligen Thermometers zu erhöhen, so muß zugleich auch angegeben geben, welches die Temperatur des Körpers in dem Augenblicke war, da die Wärmezufuhr begann. Diejenige Abteilung der Wärmelehre, welche sich speziell mit den hier in Betracht kommenden Aufgaben befaßt, die Kalorimetrie, fußt noch immer auf den großartigen Experimentaluntersuchungen von Regnault, die sich über die drei Lustren 1847 bis 1862 erstrecken. Die spezifische Wärme des Wassers, auf welches ja als normativen Stoff die Wärmekapazitäten bezogen zu werden pflegen, hat neuerdings (1884) A. W. Velten sehr genau ermittelt.

Wenn wir weiter unseren Blick durch die Entwicklungsgeschichte der Kalorik schweifen lassen, so haftet derselbe für einige Zeit auf einem schon in früheren Jahren viel besprochenen Versuche, der aber erst viel später seine wirklich zureichende Erklärung fand. Wir meinen das sogenannte Leidenfrostsche Phänomen, 1756 durch den damaligen Professor der kurzlebigen Universität Duisburg entdeckt und darin bestehend, daß ein Flüssigkeitstropfen, der auf eine glühend heiße Metallfläche fällt, nicht etwa sofort verdampft, sondern als stark abgeplattetes Ellipsoid sich auf der Unterlage frei bewegt, bis mit der Abkühlung bei einem gewissen Temperaturgrade ein jähes Verpuffen eintritt. Perkins machte hierfür eine „abstoßende" Kraft der Wärme, über deren Natur freilich gar nichts bekannt war, verantwortlich, und P. H. Boutigny (? —1884), der seine siebzehnjährigen Erfahrungen über das, was er den sphäroidalen Zustand der Körper nannte, im Jahre 1857 der Öffentlichkeit übergab, wollte eben diesen Zustand als einen vierten den bereits bekannten drei Aggregatzuständen der Materie zur Seite gestellt wissen, was aber von Buff, V. Pierre (1819 bis 1886) und Poggendorff zurückgewiesen wurde. Immerhin waren auch die Gegner nicht einig über die Beschaffenheit eines sonst nicht leicht zu beobachtenden Verhaltens der Körper, und noch 1863 suchte sich J. Berger (geb. 1831) auf Grund desselben eine eigenartige Molekularphysik zurechtzumachen, allein nachdem Poggendorff auf elektrischem, Tyndall auf optischem Wege die frühere Vermutung zur Gewißheit erhoben hatten, daß zwischen Tropfen und heißer Platte keine direkte Berührung stattfindet, bildete sich rasch die richtige Erklärung heraus: Eine Dampfschicht isoliert die Wassermasse so lange, bis die zunehmende Abkühlung der Dampfbildung eine Grenze setzt. So versteht man auch die uralte, in Hochofenwerken oft gemachte Wahrnehmung, daß die Arbeiter mit bloßer Hand durch den weißglühenden Eisen- oder Glasstrom hindurchfahren; der auf der Haut kondensierte Dampfüberzug verhindert eben eine unmittelbare Berührung mit der heißen Masse. Gewisse merkwürdige Vorkommnisse bei mittelalterlichen „Gottesurteilen" finden so möglicherweise eine sehr natürliche Deutung. Später (1873) hat

Ph. Carl die weiterer Prüfung würdige Ansicht ausgesprochen, daß die explosiven Vorgänge, welche einen Vulkanausbruch zu begleiten pflegen, in einer akuten Verdampfung des zuvor nach Art des Leidenfrostschen Zustandes geballten Wassers ihren Grund haben mögen. Endlich wissen die Techniker von heute, daß auf solche Weise leicht Kesselexplosionen zustande kommen können, wenn die Wände so stark überhitzt werden, daß das eingeführte Wasser sich sphäroidal zu koagulieren genötigt war.

Wir haben (Abschnitt XI) gesehen, wie innig die Lehre von den Dampfmaschinen mit der Ausbildung der Wärmelehre überhaupt verbunden ist. Unsere Rückschau in jenem Abschnitte belehrte uns darüber, daß die Thermodynamik sich aus der Betrachtung der in solchen Maschinen sich abspielenden Kreisprozesse heraus entwickelt hat. Diejenige Theorie der Dampfmaschine, welche F. M. G. Graf Pambour (1795—?) — sein Werk über Lokomotiven wurde später auch durch den berufsmäßigen Übersetzer Schnuse verdeutscht — im Jahre 1844 aufstellte, und für die anfänglich eine sehr wohlwollende Stimmung vorzuwalten schien, konnte sich gegenüber der mechanischen Wärmetheorie nicht halten, obschon über die näheren Umstände, wie letztere anzuwenden sei, zwischen den Hauptvertretern der neuen Anschauungen — W. Thomson, Rankine und Clausius — auch noch manche Meinungsverschiedenheit bestand. So viel aber ließ sich mit völliger Sicherheit feststellen, daß auch bei der besten Dampfmaschine das Rankinesche Verhältnis des theoretischen Nutzeffektes zur wirklichen Leistung ziemlich weit von der Einheit entfernt bleibt, daß keine vollkommene Verwandlung der mitgeteilten Wärme in mechanische Energie zu erwarten ist. Unter diesem Gesichtspunkte trat die Erfindung neuer Motoren von weiter gehender Energieumwandlung in den Vordergrund; so entstand die Heißluftmaschine, von der wir bereits Notiz zu nehmen hatten, so (1860) die Gaskraftmaschine von R. Lenoir-Marinoni, deren Prinzip allerdings zuvor schon, ohne viel Wesens davon zu machen, der als Mechaniker überaus geschickte Münchener Uhrmacher Reithmann angewendet hatte. Die direkte Explosionswirkung des Luftgemisches, durch welches man einen elektrischen Funken schlagen ließ, wurde ihres diskon-

tinuierlichen Charakters halber beseitigt in dem Systeme von Otto und Langen, welches seit 1867 in gewerblichen Anlagen eine großartige Propaganda gemacht hat. Neuerdings sind alle diese mehr oder weniger kalorischen Motoren durch diejenigen abgelöst worden, bei denen die elektrische Kraft den treibenden Faktor darstellt. Dagegen hat die Dampfmaschine in ihrer Bedeutung für Lokomotion durch pneumatische und elektrische Kraftquellen nur eine bedingte, an gewisse Grenzen gebundene Konkurrenz erfahren. Hier ist in erster Linie maßgebend die mathematische Beziehung zwischen Temperatur und Elastizität des Wasserdampfes; in geschlossener Form läßt sich jedoch eine solche nur näherungsweise ermitteln, und schon in den fünfziger Jahren kannte man einige vierzig hierzu vorgeschlagener Formeln, unter welchen diejenigen von Magnus, Holtzmann und Frankenheim die bekanntesten waren. Der Praktiker hält sich aber immer am liebsten an die umfassendsten Regnaultschen Tabellen, die ihren empirischen Ursprung nicht verleugnen wollen, durch ihre Genauigkeit aber noch heute eine hoch geachtete Stellung in der Wissenschaft einnehmen. Bei der Ausarbeitung dieser Zahlen hatte der große Physiker selbst die persönlichen Gefahren nicht gescheut, welche ihm drohten, wenn die Probekessel mit sehr hoch gespannten Dämpfen gefüllt wurden.

Es lag uns in dem die große Revolutionierung der physikalischen Grundanschauungen schildernden Abschnitte zunächst nur ob, ganz allgemein das Wesen der kinetischen Gastheorie zu kennzeichnen; nunmehr tritt die Pflicht an uns heran, die Vorstellungen dieser letzteren näher zu präzisieren. Es war Kroenig, der die Gesetze von Mariotte, Gay-Lussac und Avogadro durch die einfachsten elementargeometrischen Betrachtungen aus der Annahme herleitete, daß die kleinen elastischen Gasbälle durch einander schwirren, sich gegenseitig stoßen und auch von einer Wand, auf die sie treffen, nach den Gesetzen des elastischen Stoßes zurückgeworfen werden. Clausius stellte sich in der Hauptsache auf den gleichen Standpunkt, hielt aber daneben noch vibratorische und rotatorische Bewegungen der Gasmoleküle für unbedingt notwendig, um dem Umstande gerecht zu werden, daß die

unserer Beobachtung zugänglichen elastischen Flüssigkeiten von jenem ideal-vollkommenen Gaszustande, mit dessen Voraussetzung Kroenigs Hypothese steht und fällt, mehr oder weniger abweichen. Für seine weiteren Forschungen legte indessen auch er, weil die Berücksichtigung jener sekundären Bewegungen allzu große Verwicklungen mit sich bringen würde, den vollkommenen Zustand zu Grunde. Es war ihm möglich, solchergestalt den Übergang einer Substanz aus einem der drei Aggregatzustände in den nächst benachbarten kausal befriedigend darzustellen, indem er nur zwischen Dämpfen und eigentlichen Gasen die allerdings einschneidende Verschiedenheit bestehen ließ, daß letztere ihr Volumen ohne innere Arbeitsleistung sollen ändern können, wogegen bei den Dämpfen noch eine bestimmte Molekularanziehung mit Aufwand innerer Arbeit zu überwinden wäre. Um die Mittelgeschwindigkeit der Gaspartikeln bestimmen zu können, mußten Joule und Clausius einige wohl nicht in aller Strenge zutreffende Voraussetzungen machen; dann aber ergaben sich einfache Formeln, und der Umstand, daß die numerischen Beträge, welche beide Physiker für Wasserstoff fanden, sehr gut zusammenstimmten, mußte als ein günstiges Moment für die Erlaubtheit der angenommenen Vereinfachungen in die Wagschale fallen. Gleichwohl war die von Maxwell (1860) aufgeworfene Frage berechtigt, welche Differenzen zwischen thatsächlichen und mittleren Geschwindigkeiten allenfalls hervortreten könnten; die zu diesem Ende von ihm und Boltzmann angestellten Überlegungen führten zu sehr merkwürdigen Analogien zwischen den hier und in der Wahrscheinlichkeitsrechnung giltigen Gesetzmäßigkeiten. Die mittleren Weglängen der Moleküle geben Ausdrücke von Clausius, Maxwell und O. E. Meyer (1866) wieder, die sich nur um einen konstanten Faktor voneinander unterscheiden. Noch aber hatte man sich nicht an die schwierige Aufgabe herangewagt, auch die Größe der Korpuskeln einer Berechnung zu unterziehen. Hier setzte 1865 J. Loschmidt (1821—1895) ein; im flüssigen Aggregatzustande, so schloß er, berühren sich die Moleküle gegenseitig, und hieraus folgerte er weiter, daß die Zahlgröße, welche er als Verdichtungsfaktor einführte, gleich dem Ver-

hältnis der Dichten sei, die dem betreffenden Stoffe im festen und im tropfbaren Zustande zukommen. Weiterhin bewies er, daß der Durchmesser des kugelförmigen Teilchens dem achtfachen Produkte aus Weglänge und Verdichtungsfaktor gleich sei, und da diese letzteren beiden Werte erhältlich sind, so trifft ein gleiches zu für die Größe, auf welche es ankommt. Wenden wir wieder die Bezeichnung Mikron (gleich 0,001 mm) an und bezeichnen 1 Mikron, wie es gemeiniglich geschieht, mit μ, so ist z. B. für Schwefelwasserstoff, Chlor und Kohlensäure der Molekülldurchmesser durch nachstehende Werte gegeben: 0,0089 μ, 0,0096 μ und 0,0114 μ. Etwas größer fallen die Zahlen aus, wenn nach den einen ganz anderen Weg einschlagenden Methoden von Dorn und J. D. van der Waals (geb. 1837) verfahren wird. Endlich hat O. E. Meyer auch die Zahl der Teilchen und deren mittleren Abstand zahlenmäßig darzustellen gelehrt. Einen ersten systematischen Abschluß gab der gleiche Forscher der kinetischen Gastheorie durch sein gleichnamiges, im Jahre 1877 herausgegebenes Werk, welches seitdem, so mannigfach sich auch Gelegenheit zu weiteren Diskussionen ergab, das Fundament für Untersuchungen auf verwandten Gebieten bildet. Namentlich hat sich das Bündnis zwischen Kinetik und mechanischer Wärmetheorie immer mehr befestigt.

Doch ist freilich noch keineswegs ausgemacht, daß jene winzigen Körperchen, mit deren Größe, Menge und Bewegung uns die moderne Gastheorie bekannt gemacht hat, wirklich als unterste Grenze der mechanischen Teilbarkeit — von der Zerfällung der Moleküle in Atome ist hier abzusehen — zu betrachten wären. Gewisse Strahlungserscheinungen, mit denen man in allerneuester Zeit sich zu beschäftigen begann, und deren Erörterung dem nächsten Abschnitte vorbehalten bleiben muß, lassen die Möglichkeit offen, daß kleinste materielle Teilchen den Raum durchwandern, gegen die gehalten ein Wasserstoffatom noch als ein ganz respektables Stück Materie angesehen werden müßte. Zu Studien dieser Art hat teilweise ein kalorisches Experiment der siebziger Jahre den Anstoß gegeben, welches noch heute nicht als ein endgiltig geklärtes gelten kann. Gelegentlich hatten Wahrnehmungen, wie sie 1873 W. Crookes (geb. 1832) machte, schon viel früher von

sich reden gemacht; Pouillet hatte 1849 einige einschlägige Beobachtungen dem Publikum vorgelegt und dabei erinnert, daß schon seit 1751 die Beeinflussung des Bewegungszustandes sehr leicht bewegbarer Systeme durch Wärmestrahlung einen häufig wiederkehrenden Artikel in den gelehrten Zeitschriften gebildet habe. Desungeachtet machte erst Crookes' neuer Apparat, Radiometer genannt, wirkliches Aufsehen, und zwar nicht bloß in spezifisch wissenschaftlichen Kreisen. Ein mit Platin-, Holz- oder Glaskügelchen an seinen Enden beschwerter Strohhalm ist in seinem Schwerpunkte an einem Faden befestigt; das Ganze steckt in einer den Luftzug abhaltenden, mit verdünnter Luft gefüllten Glasflasche. Je nachdem man kalte oder warme Körper in die Nähe der letzteren bringt, zeigt sich Anziehung oder Abstoßung, die in einer Drehbewegung des Stäbchens im einen oder anderen Sinne erkennbar wird. Tait und sein engerer Landsmann J. Dewar (geb. 1842) suchten die Besonderheiten der Bewegung einer solchen Lichtmühle, wie der populäre Name lautet, durch den Stoß der Moleküle des im Gefäße enthaltenen Gases — gewöhnlich Luft — zu erklären, während F. Neesen (geb. 1849) in der Umdrehung bloß eine Reaktionserscheinung erkennen wollte. Wie bei der Segnerschen Turbine der Rückstoß des Wassers die Drehbewegung einleitet, so sollen im Falle der Lichtmühle die an den erwärmten Flächen der beiden Endkörper deren Rückgang bewirken. Zoellner freilich hielt (1877) die Aktion dieser theoretisch allerdings vorhandenen Störungen für viel zu unbedeutend, um eine so rasche Wirbelung der Flügel hervorrufen zu können; er selbst neigte der von O. Reynolds und G. Govi (1826—1889) herrührenden Hypothese zu, daß im Reaktionsstoße der zuerst absorbiert gewesenen und durch die Erwärmung heraustretenden Gase die bewegende Ursache zu suchen sei. Auch elektrische Erklärungsweisen sind mehrfach in Anregung gebracht worden. A. Schuster (geb. 1851) stellte 1876 fest, daß, wenn man den die Drehwage enthaltenden Glasballon in Wasser setzt, derselbe eine selbständige Umdrehung in einem der des Wagebalkens entgegengesetzten Sinne zu machen anfängt, was nach dem Gesetze von der Gleichheit zwischen Wirkung und Gegenwirkung nur so

gedeutet werden kann, es müßten interne Kräfte als Triebfeder wirken. Auch Aug. Schmidt zieht neuestens aus der Thatsache, daß absolute Luftentziehung der Rotation Einhalt thut, einen entsprechenden Schluß; molekulare Bewegungen der verdünnten Gase sind überall vorhanden, besitzen aber an den berußten Endflächen die meiste Energie. Der Crookessche Apparat hat nämlich jetzt gewöhnlich die Einrichtung, daß zwei senkrecht zu einander stehende gleicharmige Hebel, an deren Endpunkten geschwärzte Aluminiumbleche angebracht sind, im gemeinschaftlichen Mittelpunkte auf einer feinen Spitze schweben, und dieses Drehkreuz wird in einer birnförmigen Glasumhüllung der Wärmestrahlung ausgesetzt. Kaum ist dies geschehen, so tritt eine lebhafte Rotationsbewegung ein.

Wir nehmen mit der Beschreibung dieses unter allen Umständen höchst merkwürdigen Instrumentchens, durch dessen allseitige Besprechung ein wirkliches Ferment in die Wissenschaft hineingetragen worden ist, Abschied von der theoretischen Wärmelehre und bemerken nur anhangsweise noch, daß derselben auch eine gewichtige Förderung durch die weit vervollkommneten Hilfsmittel der Temperaturmessung zu teil geworden ist. Die Thermometrie ist eigentlich erst, nachdem allerdings schon früher, nämlich 1864 bis 1874 G. Recknagel und 1877 L. Loewenherz (1847—1892) die Notwendigkeit schärferer Bestimmungen betont hatten, durch die Begründung jenes Institutes in die richtigen Bahnen geleitet worden, welches als physikalisch-technische Reichsanstalt in Berlin-Charlottenburg seine segensreiche Wirksamkeit entfaltet. Seit 1872 geplant, konnte das Institut erst seit 1887 und noch mehr seit 1890 in großem Stile zu arbeiten beginnen, nachdem ihm auf dem von Werner v. Siemens geschenkten Grundstücke ein stattliches, eigenes Heim gesichert war. Bis zu seinem Tode (1894) führte H. v. Helmholtz die Direktionsgeschäfte, welche alsdann an Kohlrausch übergingen. Loewenherz war als Abteilungsvorstand eingetreten. Die Reichsanstalt beschäftigt gegen sechzig Gelehrte, Unterbeamte, Mechaniker und dienende Kräfte; Studien über die beste Konstruktion physikalischer Meßapparate, Beglaubigung von Instrumenten, Prüfung aller möglichen Apparate, bei denen es

auf Übereinstimmung und Vergleichbarkeit ankommt, liegen ihr ob. Alle ärztlichen Wärmemesser sind dortselbst sozusagen geaicht, und neuerdings geht auch von da eine kräftige Initiative aus, um allenthalben endlich die Celsius-Skala zur Durchführung und Anerkennung zu bringen. Die Herstellung geeigneten Thermometerglases läßt sich besonders das berühmte optische Institut von K. Zeiß (1818—1888) in Jena angelegen sein, dessen wissenschaftliche Leitung in den Händen des auf dem Gebiete der höheren Optik überaus thätigen Mathematikers E. Abbe (geb. 1840) liegt. Man erzeugt hier Glas, welches von der schädlichen thermischen Nachwirkung — einem Gegenstücke zu der uns bekannten elastischen Nachwirkung — so gut wie völlig frei genannt werden darf; Wiebe hat 1886 das aus Kieselsäure, Natron, Zinkoxyd, Kalk, Thonerde und Borsäure in genau abgeglichenen Mischungsverhältnissen zusammengesetzte Jenaer Normal-Thermometerglas genau beschrieben. Für sehr hohe Temperaturen muß man die Pyrometer zu Hilfe nehmen, die teils das Prinzip des Luftthermometers, teils dasjenige der elektrischen Widerstandsmessung zur Norm genommen haben. Unter denen der letzteren Gattung ist die von William Siemens (1822—1883) eingeführte Konstruktion die beliebteste. Die nach dem Vorgange von J. Prinsep (1799—1840) gearbeiteten Metallpyrometer sind später etwas außer Kurs gekommen. Auf das Feld exaktester Messung suchte sodann der Amerikaner Ch. Barus (geb. 1850), der auch längere Zeit in Deutschland thätig war, die Pyrometrie in einem selbständigen Werke („Die physikalische Messung und die Behandlung hoher Temperaturen", Leipzig 1892) hinüberzuführen. Die Bemühungen um Festsetzung einer passenden Wärmeeinheit, an denen sich besonders E. Warburg beteiligte, werden hoffentlich bald vom Erfolge gekrönt werden.

Mannigfaltige Fäden verknüpfen miteinander Wärmelehre und Akustik. Als wir von der Fortpflanzung des Schalles handelten, hatten wir von der Thatsache Akt zu nehmen, daß die Newtonsche Formel die fragliche Konstante unrichtig lieferte, und daß eine Korrektur erst durch Laplace angebracht wurde, der erkannt hatte, daß das Verhältnis der spezifischen Wärme

bei konstantem Drucke zur spezifischen Wärme bei konstantem Volumen ein von der Einheit verschiedenes ist. Auch anderweit fehlt es nicht an sinnenfälligen Bethätigungen des erwähnten Sachverhaltes. Dann beginnen 1874 die Untersuchungen über akustische Trübung und Durchlässigkeit der Luft, angeregt von Tyndall, der den Satz aufstellte: Eine optische Wolke ist etwas von einer akustischen Wolke gänzlich Verschiedenes, und Nebel dämpft den Schall so gut wie gar nicht. Nach den von O. Reynolds und Anderen gemachten Beobachtungen ist dies allerdings nicht unbedingt richtig, indem gerade auch bei der Verdichtung des in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfes leicht Temperaturungleichheiten und, in deren Gefolge, Luftströmungen entstehen. Und kein anderer als A. v. Humboldt hatte bereits zu Anfang des Jahrhunderts die durch lokale Bodenerwärmung entstehenden Luftströmungen als die Ursache diffuser Reflexion der Schallwellen angesprochen, welche ihm zufolge bewirkt, daß man bei Nacht viel weiter als bei Tage hören kann. Mutmaßlich hängen mit örtlichen Störungen des Wärmegleichgewichtes auch die mysteriösen Schallerscheinungen zusammen, auf welche neuerdings durch G. H. Darwin, Lancaster, R. Sieger und besonders Leonhard Weber (geb. 1848) das Augenmerk der Physiker und Geographen gelenkt worden ist. Man kennt diese eigentümlichen Geräusche, in den verschiedensten Ländern, als Mistpoeffers, Wasser- und Seeschüsse, Nebelrülpse, in Hindostan auch unter dem Namen Barisal-Guns.

Unter den Auspizien der neueren Kinetik ist das Problem der Schallfortleitung in verschiedenen Medien zuerst von Stefan (1863) behandelt worden. Er, wie nach ihm Maxwell, T. Preston und J. L. Hoorweg (geb. 1841), trachtete darnach, das Verhältnis der Schallgeschwindigkeit zur mittleren Molekulargeschwindigkeit zu ermitteln. Regnaults Versuche (1868) schienen das überraschende Ergebnis zu liefern, daß auch die Schallstärke von Belang sei, daß z. B. der Knall eines Kanonenschusses sich rascher als der eines Pistolenschusses verbreite. Zumal bei Explosionswellen beobachtete auch 1877 E. Mach (geb. 1838), einer der um die Lehre vom Schalle verdientesten neueren Physiker, eine erhöhte

Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Die älteren Methoden gestatteten keine feinere Prüfung des sich so erhebenden Paradoxons, und deshalb begrüßte man es dankbar, daß Kundts Staubfiguren, deren erste Erwähnung aus dem Jahre 1866 stammt, eine Revision des Problemes ermöglichten. Wenn in einer geschlossenen Röhre Luft schwingt, so bilden sich durch Zurückwerfung an den Deckflächen stehende Wellen heraus, wie wir sie im sechsten Abschnitte als die Seiches der Binnenseen kennen lernten, und an den Knotenstellen ordnet sich der feine Staub, den die Luft zuvor beigemengt erhielt, in Ringen oder Streifen an. Damit ist die Messung der Wellenlänge gegeben, und da die Tonhöhe ohne weiteres die Zahl der Schwingungen in der Sekunde liefert, so kennt man auch die Schallgeschwindigkeit. Kundt experimentierte vielseitig mit seinen Staubröhren und vermochte Regnaults Erfahrungssatz nicht zu bekräftigen, wies aber im Wärmeaustausch durch die Röhrenwände eine ergiebige Quelle von störenden Einflüssen nach. Die Schallgeschwindigkeit ist auch eine Funktion des Ausdehnungskoëffizienten des gasförmigen Mittels, welches die Schallwellen durchlaufen. Entsprechende Formeln sind auch von Helmholtz (1863) und von Kirchhoff (1868) hergeleitet worden. Kundt hat ferner (1873) die Schwingungen von Luftplatten und, in Verbindung mit O. Lehmann (geb. 1855), wenig später die durch Longitudinalschwingungen in Flüssigkeiten erzeugten Klangfiguren untersucht und höchst geschickt diese Bewegungsformen zu objektivieren verstanden.

Von den Tönen, welche dem Gehörorgane davon Nachricht geben, daß sich in größerer oder geringerer Entfernung Schwingungsvorgänge abspielen, ist bisher nur mehr sekundär die Rede gewesen. Zunächst steht fest, daß G. S. Ohm in den vierziger Jahren eine korrekte, mathematische Theorie der Tonbildung entwickelt und bewiesen hat: Jeder Klang wird vom Ohre so zerlegt, daß jede der sich wechselseitig überlagernden Wellen als besonderer Ton empfunden wird. Was hier einstweilen nur ziemlich summarisch ausgesprochen war, gab die Grundlage ab für die umfänglichen Forschungen von Helmholtz, die sich, von 1856 datierend, im Jahre 1863 zu einem über-

einstimmend als klassisch anerkannten Buche („Die Lehre von den Tonempfindungen", Braunschweig) verdichteten. Der Autor, als akademischer Lehrer der Physiologie in Heidelberg auf das Grenzbereich zwischen anorganischer und organischer Naturwissenschaft hingewiesen, legte in diesem Werke, das mit Schnelligkeit weitere Auflagen erlebte, den Grundstein zu einer neuen Disziplin, der physikalischen Theorie der Musik. Eine Gehörerscheinung kann ein Geräusche sein; dann versagt ihr gegenüber die wissenschaftliche Analyse. Andererseits kann auch ein Klang vorliegen, an dem Stärke, Tonhöhe und Klangfarbe unterschieden werden. Die Tonhöhe war schon seit der ältesten griechischen Zeit ein Untersuchungsobjekt gewesen, um dessen willen die Pythagoreer den ersten geschichtlich nachweisbaren physikalischen Apparat, das Monochord, konstruiert hatten. Was die Tonstärkemessung oder Sonometrie anbetrifft, so läßt deren Ausbildung noch bis zum heutigen Tage zu wünschen übrig; was der sonst als Geologe bekannter gewordene Münchener Gelehrte K. E. Schafhäutl (1803 bis 1890) auf diesem Gebiete geleistet, ist wohl zu wenig bekannt geworden, und zumal sein 1854 erfundenes Phonometer verdient auch jetzt noch Beachtung. Neuere Versuche, diesen Zweck zu erreichen, sind in nicht ganz geringer Anzahl zu verzeichnen, und die Vielgestaltigkeit der Methoden, welche Dvořak, A. M. Mayer (geb. 1836), A. Heller (geb. 1843), A. Oberbeck (1846—1900) und K. v. Vierordt (1818—1884) in Vorschlag brachten, läßt erkennen, daß man nur indirekt sich einem Ziele zu nähern hoffen darf, welches schon der Individualität unseres Schall-perzipierenden Organes halber ein fernliegendes sein muß. Helmholtz' eigenstes Verdienst ist die scharfe Heraushebung der Klangfarbe, deren Dasein es uns z. B. gestattet, die Verschiedenheit zu erkennen, die besteht, wenn auf zwei Saiteninstrumenten von abweichendem Bau — Violine, Zither, Guitarre — der nämliche Ton gleich stark angegeben wird. Zwar hatten Haldat und E. (nicht S.) Brandt (?—1861) schon etwas früher die erwähnten Unterschiede richtig erfaßt, allein dadurch kann der großen Leistung des Mannes kein Eintrag geschehen, der zuerst zeigte, daß man das menschliche Ohr, wenn es zu träge ist, um die von Ohm geforderte Wellenzerlegung

vorzunehmen, durch geeignete Bewaffnung in den Stand setzen kann, seine Aufgabe besser zu lösen. Gemeint sind Helmholtz' Resonatoren, Glaskugeln, die man, da an einer Stelle eine konische Öse angeblasen ist, leicht in engste Berührung mit dem Gehörgange bringen kann. Dieselben sind für einen bestimmten Oberton abgestimmt, d. h. es gerät die in ihnen eingeschlossene Luftmasse durch diesen Ton in eine besonders lebhafte Pulsation, und so wird der Oberton, der sonst in der Konkurrenz mit anderen Luftschwingungen undeutlich verklingen würde, klar und kräftig herausgehört. Mit Hilfe dieser Resonatoren bestimmte Helmholtz die Klangfarbe der Vokale, die er instrumentell nachzubilden lehrte, und denen gegenüber er die Konsonanten als unzerlegbare Geräusche definierte. Der einfache Ton findet nach Helmholtz in der Musik nur eine untergeordnete, durch Stimmgabeln und Orgelpfeifen repräsentierte Anwendung; der zusammengesetzte Klang, innerhalb dessen der Hauptton mit einer ganzen Reihe von Obertönen verschmilzt, hat eine weit machtvollere musikalische Wirkung. An die objektive Darstellung der Vokaltöne, welcher der große niederländische Physiologe F. C. Donders (1818—1889) einigermaßen vorgearbeitet hatte, schließen sich die dem gleichen Ziele zustrebenden Arbeiten C. van Quantens (geb. 1824) und Rudolf Koenigs (geb. 1832) an. Letzterer, ein geborener Königsberger, ist seit 1852 zum Pariser geworden; er eröffnete 1859 sein Atelier als „Constructeur d'instruments d'acoustique", und sowohl seine Kataloge und Abhandlungen, wie vor allem auch seine zahlreichen Erfindungen im Reiche der Töne sichern ihm einen Ehrenplatz unter den Patronen dieses Zweiges der Experimentalphysik. Ihm ist (1864) eine wesentliche Verbesserung jenes handlichen Instrumentes zu danken, welches als Stethoskop den modernen Arzt auf allen Besuchsgängen begleitet, um ihn bequemer auskultieren zu lassen; er bestimmte (1880) die Anzahl der Schwingungen der seitdem in allen Theatern und Konservatorien ihre Dienste thuenden Normalstimmgabel; er beobachtete (1881) den Schwingungszustand der tönenden Luft in „gedackten" Pfeifen, und auch sonst wird er noch unsere Pfade kreuzen. An diesem Orte gedenken wir seiner abgeänderten Wiederholung (1870) der

Helmholtzschen Vokalversuche, deren Ergebnis die Auffindung von fünf den Vokalen zugeordneten Obertönen war; in ihnen ist, wenn Koenig recht hat, die Ursache des Umstandes zu suchen, daß das menschliche Sprachorgan in allen Idiomen es immer nur zur Bildung der nämlichen fünf Selbstlauter bringt und gebracht hat, obschon der Stimme von Hause aus die Fähigkeit zukomme, eine unbeschränkte Anzahl solcher Laute zu bilden. Eine Kompromißtheorie von Auerbach, welche in jedem Vokalklange zwei Elemente unterscheidet, von denen nur eines, das absolute, der Nachbildung ohne Mitwirkung der menschlichen Stimme fähig sein soll, hat Unterstützung gefunden; über das neuere Verfahren wird weiter unten berichtet werden. Daß aber die Resonanz in der Mundhöhle den Vokalcharakter wenigstens mit bedingt, kann als eine anerkannte Wahrheit gelten.

Einen weiteren, sehr wesentlichen Fortschritt bedeutet die Helmholtzsche Erklärung der Kombinationstöne, deren Erforschung seit 1856 einen der von dem großen Physiker sich selbst vorgezeichneten Programmpunkte bildete. Von den beim Zusammenklingen verschieden hoher Töne hörbar werdenden Schwebungen, die als reine Interferenzerscheinungen aufzufassen sind, wurden die Differenz- und Summentöne unterschieden, die sich als störende Stöße bemerklich machen und das feinere Gehör empfindlich behelligen. Der Nachweis ihrer Existenznotwendigkeit gestaltete sich zuerst rein mathematisch, indem die gewisse trigonometrische Funktionen enthaltende Gleichung für den Weg aufgestellt ward, um welchen der angegriffene Massenpunkt im elastischen Mittel aus seiner Ruhelage abgelenkt wird; R. Koenig erbrachte 1876 mittelst des Stimmgabelversuches eine überzeugende Demonstration für die Summentöne, und noch umfassender that dies 1885 R. Weber (geb. 1850) vermöge seiner elektrischen Sirene. Nun fehlte aber noch der anatomisch-physiologische Beleg dafür, daß das die Schallwellen aufnehmende und zum Zentralsitze der Empfindungen fortleitende Organ von der Natur für die Rezeption solcher Wellenüberlagerungen befähigt gemacht worden ist. Hier war wiederum Helmholtz in seinem Elemente, denn ihm dankt man die erste genaue Interpretation der Funktionen, welche das „Cortische

Organ", der zuerst 1851 von Marchese A. Corti einläßlich beschriebene Hauptbestandteil des sogenannten „Labyrinthes", zu erfüllen hat. An den Cortischen „Bogen" sind die in einer wässerigen Flüssigkeit schwimmenden „Hörhärchen" befestigt, deren es mehrere tausend giebt, und von denen jedes eine gewisse Tonempfindlichkeit zu besitzen scheint, so daß man es sozusagen mit einem äußerst komplizierten Saiteninstrumente zu thun hat, dessen einzelne Saiten durch die eindringenden Wellen, unter Mitwirkung des „Labyrinthwassers", zum Schwingen gebracht werden. Geringere Tonintervalle wirken auf benachbarte Cortische Haare und erregen dieselben gemeinschaftlich, so daß der Eindruck einer Schwebung hervorgebracht wird, während bei größerer Distanz diese gleichzeitige Beeinflussung der kleinen Borsten nicht mehr stattzufinden scheint. Die Fähigkeit, Klänge zu zerlegen oder zu vereinigen, ist eben beim Ohre gerade so an Grenzen gebunden, wie andererseits das Auge nur Strahlen innerhalb nicht sehr distanter Brechbarkeitsgrenzen als solche zu erkennen imstande ist.

Die Klangzerlegung auch ohne Inanspruchnahme des Gehöres ersichtlich zu machen, war das Bestreben verschiedener Experimentatoren. Joh. Müller (1809—1875) benützte dazu Plateaus stroboskopische Scheiben, die in neuerer Zeit, zumal von Anschütz, mit großem Erfolge dazu verwendet werden, stetige Bewegungen in eine Folge von Momentanzuständen aufzulösen (einzelne Stadien des Ganges eines Menschen, des Galoppes eines Pferdes). Auch von Mach ist später (1873) die stroboskopische Untersuchung des Verhaltens schwingender und tönender Körper mit großem Erfolge angewandt worden. Von Wheatstone und Fessel gingen die bekannten praktischen Wellenmaschinen aus, die zur Zeit in keinem Experimentiersaale fehlen dürfen, und an denen auch der für mathematische Betrachtung unzugängliche Beschauer mit den Augen verfolgen kann, wie mehrere Wellenzüge sich übereinander lagern, wie die Phasen sich verstärken und schwächen. Ältere Maßnahmen v. Busses, Chladnis und Th. Youngs, von denen er jedoch kaum wußte, beträchtlich verfeinernd, konstruierte 1855 J. A. Lissajous (1822—1880) seinen bald allgemein eingeführten Apparat, „pour constater l'interférence

des ondes sonores“, den Helmholtz als Vibrationsmikroskop für seine Absichten aptierte, und der die Schwingungskombinationen gestrichener Stimmgabeln zur unmittelbaren Anschauung bringt. Es zeigen sich in den oszillierenden Spiegeln die sonderbar verschlungenen Lissajous-Kurven, deren geometrische Eigenschaften 1877 W. Braun des näheren untersucht hat. Man macht von dieser Spiegelmethode auch Gebrauch, um eine Stimmgabel durch kleine gestaltliche Veränderungen auf den Normalton — nach französischem Muster macht das Normal-a 870 halbe Schwingungen in der Sekunde — zu stimmen; wenn nämlich die Lichtbilder vollständig übereinstimmen, so daß keine Kurven mehr resultieren, so haben die Schwebungen aufgehört, und der Schwingungszustand beider Gabeln ist der gleiche geworden. Die Zusammensetzung zweier unter rechtem Winkel sich vollziehender Oszillationen gestattet das Universalkaleidophon von F. E. Melde (geb. 1832) bequem zu überblicken. Übrigens hat man die Vibrationen der Stimmgabelenden auch auf andere Weise zur Selbstregistrierung gebracht; ein älteres Verfahren W. Webers verbessernd, ließ Duhamel 1842 den an der schwingenden Spitze rechtwinklig befestigten Schreibstift seine Bahn auf der Mantelfläche einer bewußten Trommel aufzeichnen, und Wertheim bethätigte eine Umkehrung der Methode, indem er aus einer solchen Kurve und aus der bekannten Tonhöhe der Gabel kleine Zeitunterschiede erschloß. So entstanden die Vibrationschronoskope von Wheatstone, Pouillet, Konstantinow, Beetz, R. Koenig und Hipp, und solchen Apparaten hat man es zu danken, wenn man jetzt recht genau weiß, wie lange z. B. eine Kugel im Laufe des Schießgewehres verbleibt. Die Schwingungen elastischer Platten haben R. Radau (geb. 1835) und A. Elsas (1855—1897) studiert, von welch letzterem man unter anderem auch eine hübsche Einleitung in die neuere Akustik erhalten hat. Die Saitenbewegungen waren gegen die von anderen elastischen Körpern ausgeführten Schwingungszustände längere Zeit etwas in den Hintergrund getreten, aber 1891 zeigten O. Krigar-Menzel und A. Raps, daß die Photographie ein treffliches Mittel dafür abgebe, die einzelnen Lagen, durch welche eine schwingende Saite

hindurchgeht, im Bilde festzuhalten und miteinander zu vergleichen, und K. F. Lindemann (geb. 1852) lieferte wertvolle theoretische Beiträge.

Die erwähnten Vorkehrungen, Luftschwingungen auf elastische Körper zu übertragen und dadurch dem Gehörsinne den Gesichtsinn zu substituieren, gehören, so großartige Verfeinerungen die betreffenden Verfahrungsweisen auch erfahren haben, doch immer zum überkommenen, eisernen Bestande der Lehre von den Schallerscheinungen. Einen neuen Gedanken aber realisierte Koenig, indem er den Registrierstift des Phonautographen von E. L. Scott (1859) durch seine manometrischen Flammen ersetzte (1865). Diese wurden sodann im rotierenden Spiegel — bei Tyndalls Versuchsanordnung in einem durch Fadentorsion zur Achsendrehung gebrachten dreiseitigen Prisma — analysiert, und dieser Flammenzeiger war es eben, der bei den vorgenannten Studien über Vokalbildung nützliche Dienste leistete. Einigermaßen verwandt mit diesen Phänomenen erwiesen sich diejenigen, welche später an sogenannten sensitiven Flammen bemerkt wurden. Zu ihrem Nachweise hielt man, wie Graf F. G. J. C. Schaffgotsch (1816 bis 1864) im Jahre 1857 dies vorbereitete, die chemische Harmonika für besonders geeignet, eine Vorrichtung, die B. Higgins 1777 erdacht und Chladni seit 1794 zu einem wichtigen Inventarstücke seiner akustischen Instrumentensammlung erhoben hatte. Flammen, die man in — offene oder geschlossene — Röhren bringt, regen die eingeschlossene Luft zum Tönen an, wenn man sie an gewisse, durch Probieren auszumittelnde Stellen bringt; der Hergang folgt ganz dem von den Pfeifen her bekannten Gesetze. Der erwähnte schlesische Naturforscher sah nun, daß die Flamme zu zittern beginnt und auch wohl erlischt, wenn man in ihrer Nähe den Ton angiebt, welchen sie selbst erzeugt; ein um ein Vielfaches der Oktave sich unterscheidender Ton bringt den gleichen Effekt zuwege. Die näheren Bedingungen der zwischen Tonhöhe und Flammenempfindlichkeit obwaltenden Beziehungen sind von Tyndall (1867), W. F. Barett (geb. 1844), zehn Jahre später und auch noch von einigen anderen Physikern näher ergründet worden, und insbesondere fand sich, daß eine Stärkung der Leuchtkraft der Flamme ebensogut wie eine Schwächung erzielt werden kann.

Lichtflammen wirken ungefähr ebenso, wie Resonatoren. Wie das freilich mit der von Faraday und Davy begründeten Theorie der Flamme, die ersterer in seinem trefflich populären Schriftchen „Naturgeschichte der Kerze“ auseinandersetzte, zusammenhängt, war einstweilen noch eine offene Frage. Der Physiker W. J. Grailich (1829—1859) und der Astronom E. Weiß, P. L. Ryke (geb. 1812), K. F. J. Sondhauß (1815—1886) und A. Terquem (1831—1887) bearbeiteten das Problem der chemischen Harmonika, d. h. der singenden Flammen, und mehr und mehr brach sich die Überzeugung Bahn, daß diese Töne in die Kategorie der Reibungstöne zu verweisen seien. Hatte doch Kundt schon 1866 dargethan, daß Gasflammen sogar ohne Glasschutz durch zweckmäßig gegen sie gerichtete Luftströme zum Hervorbringen von Tönen angeregt werden können. Diese ganze Klasse von Tonerscheinungen, zu denen natürlich in erster Linie die Töne aller gestrichenen und gezupften Instrumente zählen, sind 1878 von V. Strouhal (geb. 1850) und 1883 von Melde einer ins einzelne gehenden Untersuchung unterzogen worden. Lippenpfeifen, Äolsharfen, Brummkreisel geben Töne, die hierher gezogen werden müssen, und auch die Spalttöne, denen Kohlrausch seine Aufmerksamkeit zuwandte, sind in letzter Instanz als durch die Reibung der durch eine dünne Öffnung gezwängten Luftmasse mit dem festen Körper erzeugt anzunehmen. Vielleicht sind auch die an sich unerklärlich scheinenden Töne, die man hier und da im Freien hört, und von denen z. B. H. Reuleaux („Das singende Thal von Thronecken im Hunsrück, ein Hochwaldrätsel“, Koblenz 1880) eine spannende Schilderung entwirft, als durch einen Reibungsakt an Felsecken hervorgebracht zu denken; E. Sorel hat 1883 dergleichen Tonbildungen beschrieben. Nebst den Kundtschen Staubfiguren können auch gewisse, von Lord Rayleigh in den siebziger Jahren angegebene Veranschaulichungsmittel (Rayleighsche Scheibchen) eine Rolle spielen. Von G. C. W. Koenig (Abschnitt VIII) haben wir eine interessante Darlegung (1891) des Nutzens, welchen diese Hilfsmittel gewähren, wenn man die Bewegung fester Körper, veranlaßt durch Vorgänge in einer diese umgebenden Flüssigkeitsmasse, sichtbar machen will.

Der Schall war uns bisher lediglich eine Wellenbewegung; der Schallstrahl selbst bot uns nur ein untergeordnetes Interesse. Allein auch er ist ein wichtiges physikalisches Objekt; Zurückwerfung, Brechung, Beugung können an ihm beobachtet werden. Am bekanntesten ist die Reflexion, denn auf ihr beruht das Echo, dessen Theorie in früherer Zeit die bedeutendsten Geister, so einen Euler, beschäftigt hat, während neuere Arbeiten nur spärlich anzuführen sind. Wir machen hier solche von J. J. Oppel (1815 bis 1894) und Hirn namhaft. Die Konzentrierung paralleler Strahlen im Brennpunkte einer Kautschuklinse hat bereits Koenig durchgeführt, und jüngst erst sind diese Versuche von neuem aufgenommen worden, indem 1895 L. Perrot und F. Dussaut Kautschukmembranen, die über einen Holzzylinder gespannt waren, zu sphärischer Wölbung aufbliesen und so zwar nicht einen Brennpunkt im strengen Wortsinne, aber doch eine Brennebene nachwiesen, auf welcher die Verstärkung des Tones unverkennbar war. Daß Spiegelung und Beugung im Wasser so gut wie in der Luft statthaben, wurde von Colladon dem älteren hervorgehoben.

Ebenso wie in der Optik die Frage nach denjenigen Wellenlängen, welche das sichtbare Spektrum begrenzen, eine sehr wichtige ist, so fragt der Akustiker, welches der höchste und tiefste hörbare Ton sei. Nach der ersteren Seite hin ist wahrscheinlich eine feste Schranke so leicht nicht aufzurichten; dagegen liegen bezüglich der tiefsten Töne ältere Untersuchungen von Savart und neuere von A. Appun (geb. 1839) vor; letzterer, der Sohn G. Appuns (1816—1885), hat dessen berühmte akustische Offizin in Hanau übernommen, aus welcher hauptsächlich die von Ohrenärzten gebrauchten, ungemein langsam schwingenden Prüfungsstimmgabeln hervorgingen und noch hervorgehen. Gabeln von nur 8 Schwingungen in der Sekunde sollten den tiefsten, noch wahrnehmbaren Ton liefern, aber der Holländer van Schaik bestreitet dies in seiner gekrönten Preisschrift über die Tonerregung durch Lippenpfeifen (1891) und verbleibt bei der von Helmholtz festgesetzten Grenze des Subkontra-G. Sehr tiefe Töne haben übrigens nach Ch. Burton (1895) die Eigenschaft, noch tiefer zu erscheinen, als sie an und für sich schon sind. Es liegt da ein

psychologischer Vorgang in Mitte, der nur in Verbindung mit anderen, ähnlichen Phänomenen psychophysisch aufgeklärt werden kann. Für diese schwierigen Grenzgebiete zwischen Physik einerseits, Philosophie und Psychologie andererseits sind die Werke und Abhandlungen des Berliner Philosophen K. Stumpf (geb. 1848) über Tonwahrnehmung, vorab mit Rücksicht auf den geregelten musikalischen Eindruck, als der berufenste Führer zu erachten.

Unsere Charakteristik würde unvollständig sein, wollte sie darauf Verzicht leisten, die Erfindung einiger Apparate zu registrieren, die ein großes Aufsehen erregt und der öffentlichen Wertschätzung der Akustik mächtig Vorschub geleistet haben. An erster Stelle steht der berühmte Phonograph des amerikanischen Berufserfinders Thomas Alva Edison (geb. 1847), der dazu ausersehen ist, die ihm übermittelten Tonfolgen absolut genau wiederzugeben. Am 17. März 1878 wurde derselbe der Pariser Akademie vorgezeigt, und obwohl seine Familienähnlichkeit mit dem Phonautographen Scotts eine auf der Hand liegende ist, so ist die Realisierung des beiden Mechanismen zu Grunde liegenden Gedankens doch in diesem Falle eine so überaus glückliche gewesen, daß der auch in der Kunst des Bekanntmachens und Nutzbarmachens der Erfindungen nicht leicht erreichbare Amerikaner einen vollständigen Sieg davontrug. Der Schalltrichter, welcher die ihm zugeleiteten Luftwellen aufnimmt, ist mit einer Membran überspannt, und diese wieder steht mit einem Hebel in Verbindung, der einen kurzen Schreibstift trägt. Ein zweiter Hauptbestandteil ist die uns von früher her bekannte, horizontal liegende Zylindertrommel, um die sich eine feine, schraubenförmige Rinne so herumlegt, daß sich die Trommel bei jeder Umdrehung um einen Schraubengang verschiebt. Den Zylinder umkleidet eine gut anliegende Stanioldecke, welche sich bei der Umdrehung in die erwähnte Vertiefung hineindrückt — um so tiefer offenbar, je energischer die Membrane schwingt. So entsteht also das die Wellenbewegung der Luft durch das Medium der gespannten Haut treu wiedergebende Phonogramm, welches man abheben und beliebig aufheben kann. Will man dasselbe wieder, getreu dem energetischen Prinzipe, in oszillatorische Energie rückübersetzen, so legt man es

aufs neue auf und erteilt der Trommel die entgegengesetzte Bewegung, wie vorhin. Nun führt der Stift an tieferen und minder tiefen Eindrücken hin und versetzt seinerseits die Membrane in den Schwingungszustand, an dem die umgebende Luft teilnimmt; so hört man jetzt mit vollkommenster Treue wieder alle die Klänge, welche der Phonograph — vielleicht vor Jahren — in sich aufgenommen hatte; nur die Klangfarbe ist natürlich nicht mehr ganz die gleiche geblieben. Die seitdem angebrachten Verbesserungen Edisons haben an dem Geiste des Verfahrens nichts geändert, und auch bei Berliners Grammophon (1888) ist nur die Art des Hervorrufens der Eindrücke eine zweckmäßig abgeänderte geworden. Der Stift gleitet nämlich an einer Zinkoberfläche hin, die mit Ätzgrund überzogen ist, und wenn alsdann die Ätzung wirklich eintritt, so erhält man eine sehr dauerhafte Schrift. Konzertstücke, Reden, denkwürdige Aussprüche können phonographisch oder grammophonisch in bester Konservierung der Nachwelt überliefert werden. So hat denn auch der Philologe O. Brenner einen viel versprechenden Anfang damit gemacht, die Proben der Volksdialekte, denen zum Teile kein allzu langes Leben mehr zu gewährleisten ist, in einem Archive phonographischer Rollen aufzubewahren, und die Wiener Akademie der Wissenschaften gedenkt einen ähnlichen Plan im Interesse der Sprachwissenschaft umfassend durchzuführen. Überhaupt steht dieser „Schallphotographie“ zweifellos noch eine bedeutende Zukunft bevor.

Andere Apparate, deren Aufgabe es ist, das gesprochene Wort an weit entfernte Orte zu übertragen oder sehr schwache Geräusche derart zu verstärken, daß sie gut vernehmbar werden, beruhen nicht einzig und allein auf akustischer Grundlage, sondern es mußte, um die Wellenbewegung dem gewünschten Zwecke gemäß zu modifizieren, eine ausgiebige Anleihe bei der Elektrizitätslehre gemacht werden. So entstanden das Telephon und das Mikrophon; beiden hochwichtigen Bereicherungen der angewandten Physik kann erst im nächsten Abschnitte Rechnung getragen werden. Es ist eine überaus merkwürdige historische Thatsache, daß schon in dem abenteuerlichen Zeitromane des dreißigjährigen Krieges, dem „Simplicissimus“, von einem Mittel gesprochen wird, das seinen Besitzer in

die Lage versetze, den Anmarsch des Feindes durch Schallverstärkung auf eine ganz ungeheure Entfernung hin zu erkennen. Was damals ein phantasievoller Mensch fabelte, ist seit dem Ende der siebziger Jahre zur Wahrheit geworden. Es hat sogar das Mikrophon in dem kurzen Lebensabschnitte, der ihm bisher beschieden war, schon manche ersprießliche Verwendung gefunden. So ist es ein unentbehrlicher Bestandteil jeder Fernsprechanlage geworden, und M. S. de Rossi (geb. 1834) hat dasselbe auf seinem geophysikalischen Observatorium zu Rocca di Papa im Albanergebirge in der Weise justiert, daß es dem Beobachter die schwachen vulkanischen und seismischen Geräusche zuträgt und vernehmlich macht, welche das unbewaffnete Ohr nicht aufzunehmen oder doch sicherlich nicht auf ihren wahren Ursprung zu deuten vermöchte.

Wir schließen hiermit die Lehre von den Schallerscheinungen ab, indem wir nur kurz bemerken, daß uns der übernächste Abschnitt noch einmal kurz zu denselben zurückführen wird, weil ja die physiologische Seite der Disziplin neben der physikalischen niemals vernachlässigt werden darf. Es fehlt namentlich der deutschen Litteratur nicht an selbständigen Werken, die eine gute Orientierung über den Fortschritt der Akustik zu ermitteln geeignet sind. Wer den Umwälzungsprozeß, der mit Helmholtz' Auftreten eingeleitet ward, richtig erfassen will, nimmt am besten ein von F. G. K. Zamminer (1817—1858) geschriebenes Werk (1855) zur Hand, aus dem man insbesondere ersehen kann, wie dringend notwendig der Theorie der Musik die sich damals eben vorbereitende Reform war. Die nächstfolgende Periode ist durch Tyndalls meisterhafte Vorlesungen über den Schall (London 1867, 1872, 1875) gekennzeichnet, die sich in deutschem Gewande gewiß ebenso sehr wie im heimatlichen eingebürgert haben. Für die Folgezeit aber giebt Meldes „Akustik“ (Leipzig 1883) jenen Überblick, der erfordert wird, um der geistigen Bewegung auf diesem Gebiete bis zur aktuellen Gegenwart leicht folgen zu können.

Die mechanische Physik, wenn wir diese Bezeichnung wieder in dem ihr zu Beginn dieses Abschnittes beigelegten Sinne nehmen, hat damit ihren einstweiligen Abschluß erreicht; freilich fehlen noch alle eingehenderen Hinweise auf atomistische und molekulartheoretische

Studien, wie sie gerade in dieser neuesten Zeit eine hohe Bedeutung erlangt haben. Es ist indessen auch nicht wohl möglich, diese Fragen zusammenhängend abzuhandeln, weil dieselben nach allzu verschiedenen Seiten hin ihre Fäden ziehen. Sowohl im nächsten Abschnitte, wie auch in denjenigen Kapiteln, welche der Chemie als solcher und zumal der physikalischen Chemie gewidmet sind, beanspruchen diese den inneren Zusammenhang der Körper betreffenden Probleme einen großen Raum. Aus diesem Grunde sollen hier nur noch zwei abzugrenzende Spezialgebiete geschichtlich geschildert werden: Die Lehre von der Transformierbarkeit der Aggregatzustände und die Gesamtheit der Bestrebungen, atomistisch das Wesen der allgemeinen Körperschwere zu erklären.

Wir haben erfahren, daß durch Faraday die alte Anschauung von den permanenten Gasen und von der Wesensungleichheit zwischen Gasen und Dämpfen einen schweren Stoß erlitten hatte. In rascher Folge schritt die Forschung weiter von Erkenntnis zu Erkenntnis, und mit Rücksicht darauf, daß man es auf diesem Arbeitsfelde bereits zu ungewöhnlich abschließenden Ergebnissen gebracht hat, ist die retrospektive Verfolgung des zurückgelegten Weges, wie sie uns durch die Schriften von F. Weinberger (Burghausen 1898) und Hardin-Traube (Braunschweig 1900) ungemein erleichtert wird, eine besonders belohnende und Gewinn bringende. An Faradays Verflüssigungsexperimente reihten sich 1860 diejenigen von M. P. E. Berthelot (Abschnitt IX) und 1861 jene von D. Mendelejew (geb. 1834), mutmaßlich dem ersten Sibirier, der in die Entwicklung der Naturwissenschaften selbständig eingegriffen hat. Gleichzeitig aber war eine andere, für unsere Vorstellungen von den Beziehungen zwischen Wärme und Molekularanordnung fundamentale Entdeckung gemacht worden. Im Jahre 1822 war Cagniard-Latour durch die Wahrnehmung überrascht worden, daß Schwefeläther, Alkohol und Wasser, in zugeschmolzenen Glasröhren starker Erhitzung ausgesetzt, zwar trotz des Druckes in Dampf übergingen, ihre Dichte jedoch beinahe unverändert beibehielten. Der genannte Gelehrte hatte zwar bereits eine Ahnung von der Wichtigkeit dessen, was er gesehen hatte, aber die entscheidenden Konsequenzen zog doch erst der schottische

Physiker Th. Andrews (1813—1885), dessen einschlägige Arbeiten ebenfalls um 1860 anhuben. Er beobachtete, daß verdichtete Kohlensäure in höherer Temperatur einen Zustand annahm, der mit gleichem Rechte gasförmig und flüssig genannt werden durfte; in welchem Zustande, so fragte er sich, befindet sich die Kohlensäure, wenn dieselbe bei einer Temperatur über 31° das Volumen der Flüssigkeit annimmt, ohne daß doch ein Flüssigwerden irgendwie erkennbar wird? Dieser Zustand heißt der überkritische, und der Thermometergrad, bei dessen Erreichung das Gas zu so energischer Molekularbewegung angeregt ist, daß kein auch noch so beträchtlicher Druck es in den tropfbaren Zustand zurückzuzwingen vermag, heißt die kritische Temperatur. Dieselbe wurde von Andrews für verschiedene Substanzen experimentell ermittelt; für Kohlensäure liegt sie, wie wir uns überzeugten, ziemlich tief, für Alkohol beträgt sie hingegen 325°. Seitdem ist über diesen Ausnahmezustand, der dies aber eben nur in Bezug auf unsere enge begrenzte menschliche Sinneswelt ist und für eine höhere Auffassung ganz die gleiche Berechtigung und Natürlichkeit wie jeder andere besitzt, viel gearbeitet worden; die zahlreichen Einzeluntersuchungen von P. Chappuis (geb. 1855), Dewar, B. Galitzine, K. Wesendonck, muß es genügen, hier unter anderen registiert zu haben. Noch können wir nicht mit Sicherheit entscheiden, ob Ramsay im Rechte ist, wenn er ein Fortbestehen des flüssigen Zustandes auch oberhalb des kritischen Temperaturpunktes noch für denkbar hält, oder ob man mit J. B. Hannay (geb. 1855) an das Bestehen einer wirklich festen Grenze zu denken hat. Gegen letzteres scheinen auch die allen Bedingungen gerecht zu werden trachtenden Untersuchungen von E. H. Amagat (geb. 1841) zu sprechen, die sich von 1873 an über eine längere Reihe von Jahren ausdehnen. P. de Heen ist sogar 1898 mit der überraschenden Mitteilung hervorgetreten, daß man zwei verschiedene kritische Dichten anzunehmen habe, eine des Dampfes und eine der Flüssigkeit. Die theoretische Seite dieses schwierigen Fragenkomplexes hat die meiste Förderung erfahren durch die Schriften zweier holländischer Physiker; van der Waals, den wir schon kennen, gab 1873 eine bedeutsame, 1881

von F. Roth ins Deutsche übertragene Programmschrift heraus („Die Kontinuität des flüssigen und gasförmigen Zustandes“, Leiden-Leipzig), und ihm folgte der auch durch seine geistvollen Variationen des Foucaultschen Pendelversuches (1879) bekannte H. Kamerlingh Onnes (geb. 1853) mit einer denselben Gesichtspunkt hervorkehrenden Studie („General Theory of the Fluid State“, Amsterdam 1881). Die sogenannte Zustandsgleichung, welche van der Waals aufstellte, soll die Umstände klarlegen, unter welchen ein Körper den einem der Aggregatzustände entsprechenden Molekularzusammenhang aufweist; die Gleichung ist vom dritten Grade, und wenn die drei Wurzeln, die ihr demgemäß zukommen, gleich geworden sind, soll der kritische Moment erreicht sein. Man hat gegen den Bau dieser Gleichung, namentlich ist dies von seiten B. Weinsteins (geb. 1852) geschehen, begründete Einwendungen erhoben, allein das thatsächliche Bestehen einer Zustandsgleichung, wenn dieselbe auch anders geformt sein mag, wird dadurch nicht illusorisch gemacht, und angenähert scheint man dieselbe doch als zutreffend ansehen zu dürfen. Nach van der Waals, dem auch J. W. Gibbs' (geb. 1839) eigene Arbeiten zur wertvollen Stütze dienten, erleichtert man sich die Einsicht in die oft komplizierten Beziehungen zwischen Volumen, Temperatur, Energie und Entropie durch Konstruktion der sogenannten Isothermflächen, deren merkwürdige Linien und Flächen dem Kenner, wie Kuenen zeigte, sofort den gewünschten Aufschluß erteilen; in der Herstellung und Diskussion zugehöriger Modelle haben A. Ritter, A. Blümcke und D. A. Goldhammer in Kasan Hervorragendes geleistet, wie dies die im Jahre 1893 zu München veranstaltete mathematische Ausstellung jedermann klarlegte.

Die Existenz des überkritischen Zustandes, der ja nur bei einer relativ sehr hohen Temperatur zur Thatsache werden kann, hindert selbstverständlich nicht, daß durch geeignete Vereinigung hohen Druckes und niedriger Temperatur, wie dies ja schon Faraday als seine unerschütterliche Überzeugung verkündet hatte, jedwedes Gas zu einer Flüssigkeit umgewandelt werden kann. Das Jahr 1877 bezeichnet wieder einen Markstein, denn nunmehr gelang es nahezu gleichzeitig L. P. Cailletet (geb. 1832) und

P. Raul Pictet (geb. 1846), zwei bislang widerstandsfähig gebliebene Gase, Sauerstoff und Kohlenoxyd, zu sichtbarem Nebel zu verdichten; der angewandte Druck belief sich in beiden Fällen auf rund 300 Atmosphären. Als die Pression bis fast zu 500 Atmosphären fortgeschritten und gleichzeitig eine Temperaturerniedrigung bis zu —140° herbeigeführt war, sah Pictet den flüssigen Sauerstoff in Gestalt eines glänzend weißen Strahlenbüschels, von bläulichem Hofe umgeben, aus dem geöffneten Druckrohre ausströmen; der Strahl war 2 cm dick, 10 bis 12 cm lang, und 3 bis 4 Sekunden stand es an, ehe das jetzt plötzlich unter die normalen Druck- und Temperaturverhältnisse zurückgekehrte Element wieder die Gasform annahm. Dagegen konnte Wasserstoff von Pictet noch nicht mit dem gleichen Erfolge behandelt werden. Im Jahre 1880 verflüssigte Dewar Kohlensäuremischungen von abweichender Zusammensetzung, und seit 1883 nahmen die außerordentlich folgenreichen Arbeiten der beiden trefflichen polnischen Experimentatoren Z. F. v. Wroblewski (1845 bis 1888) und K. Olszewski ihren Anfang, denen auch der unerwartete, tragische Tod des Erstgenannten keine dauernde Unterbrechung bereitete. Indem man flüssiges Acetylen als Abkühlungsmittel gebrauchte, konnte man endlich auch den Wasserstoff flüssig machen und den liquidifizierten Sauerstoff eine volle Viertelstunde lang in diesem Zustande erhalten. Mit diesen Versuchen verbanden sich Bestimmungen des kritischen Temperaturpunktes, welcher nach Olszewski (1891) folgendermaßen liegt: für Sumpfgas bei —164°, für Sauerstoff bei —181°, für Kohlenoxyd bei —190°, für atmosphärische Luft bei —191°, für Stickstoff bei —194°. Auffallenderweise liegt für das im kondensierten Zustande dunkelblaue Ozon, bekanntlich nur eine allotropische Abart des Sauerstoffs, jener Punkt ungemein viel tiefer, bei —106°. Wasserstoff endlich geht bei —234,5° in seinen kritischen Zustand über und gerät gleich darauf, bei —243,5°, ins Sieden. Wenn wir die weiteren Phasen dieser rasch aufsteigenden Entwicklungsreihe zutreffend würdigen wollen, werden wir uns der Pflicht nicht entschlagen dürfen, vorher noch einen Blick auf die rasche Ausbildung der Kältemaschinen-Technik zu werfen.

Solche Maschinen, wie sie zumal für die Kühlräume der Bierbrauereien und verwandter gewerblicher Anlagen unentbehrliche Requisite bilden, sind schon seit geraumer Zeit im Gebrauche. Ursprünglich bediente man sich ausschließlich der Kältemischungen, die zuerst vor zweihundert Jahren der bekannte Fahrenheit herzustellen lehrte; Salmiak, Salpeter und Wasser ergeben eine Temperatur von —24°, Schnee und Chlorcalcium eine solche von —42°, wenn das Mischungsverhältnis 2:1 ist. Für umfassendere Anwendung ist das Verfahren nicht geeignet, schon der Kostspieligkeit wegen. Die Kaltluftmaschinen, deren Typus die Einrichtung von Windhausen ist, basieren auf dem Grundsatze der mechanischen Wärmetheorie, wonach ein Gas sich sehr stark abkühlt, wenn es sich, ohne daß Wärme hinzutritt, plötzlich ausdehnt und dabei eine Arbeit leistet. Endlich kann auch die Verdunstungskälte als der die Temperatur herabdrückende Faktor ausgenützt werden, und zwar hat dieses Prinzip auf der einen Seite zu den Absorptionsmaschinen, auf der anderen zu den Kompressionsmaschinen geführt. In die erstere Klasse gehört die 1860 von dem Pariser Zivilingenieur F. Ph. E. Carré (geb. 1824) ersonnene, später für stetigen Betrieb justierte Eismaschine, welche zuerst flüssiges Ammoniak hervorbringt und nächstdem dessen Verdunstung einleitet. Noch verlässiger in ihrer Wirkung sind jedoch die Kaltdampfmaschinen, deren neueste Vervollkommnung sich an die Namen R. Pictet und K. P. G. v. Linde (geb. 1842) anknüpft, und zwar hat sich die Methode des letztgenannten, aus rein theoretischen Erwägungen eines erfahrenen Thermodynamikers hervorgegangen, allmählich die Hegemonie erstritten; ohne sie würde das kühne Wagnis, frisches Fleisch in eigens dazu eingerichteten Eisschiffen aus Südamerika und Australien nach Europa zu transportieren, schwerlich zu glücklichem Ausgange gelangt sein. Das treibende Agens der Maschine ist Ammoniak, während Pictet vorwiegend mit schwefliger Säure gearbeitet hatte; auch die Kohlensäure hat Beifall gefunden. Der sogenannte Generator ist mit angesäuertem Wasser gefüllt, und in ihn werden die Zellen gehängt, deren Wasserinhalt in Eis verwandelt werden soll. Das Gas wird im Kondensator aufbewahrt und von da dem Generator als

Flüssigkeit in Schlangenrohrleitungen zugeführt, aus welchen es, da es inzwischen wieder gasförmig wurde, in den Kompressor eingesaugt und von ihm wieder in flüssigem Zustande in den Kondensator weitergegeben wird, so daß der Kreisprozeß seinen Fortgang nimmt. Kamerlingh Onnes hat an der Universität Leiden ein eigenes Laboratorium zum Erzeugen niedriger Temperaturen und zum Arbeiten mit solchen begründet; auch ist seit einigen Jahren eine eigene Zeitschrift für Kälteindustrie ins Leben getreten, und die Arbeiten von M. Schroeter (1887), Behrend und Habermann (beide 1888) liefern dem Physiker und Techniker jede wünschenswerte Belehrung. Als neueste Errungenschaft steht Gorries Apparat von 1899 da, und wenn man die großartige Ausbildung dieses Zweiges der Wärmemechanik mit den bescheidenen Anfängen vergleicht, welche noch vor keinem vollen Halbjahrhundert durch Werner Siemens' Kälteerzeugungsmaschine doch schon die Fachwelt lebhaft interessierten, so wird man dieser Kraftentfaltung menschlichen Geistes und Geschickes vollste Achtung nicht versagen können.

Damit kehren wir zu unserem Hauptthema zurück, welches freilich mit der eben abgeschlossenen Einschaltung auf das allerinnigste zusammenhängt, und wenden uns der Krönung des Gebäudes zu, als welche unstreitig die Überführung der Luft in den tropfbar-flüssigen Zustand bezeichnet werden muß. Als Mitwirkende sind E. J. Houston (geb. 1844) und Kamerlingh Onnes anzuführen, der die hier vorkommenden Kreisprozesse der sorgfältigsten theoretischen Prüfung unterzog; aber die Hauptarbeit ward, in gegenseitiger Unabhängigkeit, von Dewar und v. Linde gethan, welch letzterem ohne allen Zweifel das große Verdienst zuerkannt werden muß, flüssige Luft im allergrößten Maßstabe — und folgerichtig auch zu unerwartet billigem Preise, den Liter zu 12 Pfennigen — hergestellt zu haben; von der Gesellschaft „Rhenania“ in Aachen kann dieser noch vor kurzem nur in winzigen Mengen dargestellte Artikel in ganz beliebigen Quantitäten bezogen werden. Die atmosphärische Luft wird in einem Kompressor auf einen Widerstand von 200 Atmosphären zusammengedrückt, während ein Wasserkühler unaufhörlich für Entfernung

der Kompressionswärme sorgt. Alsdann geht die verdichtete Luft durch ein System von Schlangenröhren und tritt durch ein Drosselventil in den Aufnahmebehälter hinaus, womit eine starke Temperaturherabsetzung verbunden ist. Nunmehr strömt diese kalte Luft durch die äußeren Röhren des erwähnten Systemes zurück, erleidet eine neue Verdichtung und wird zuletzt, indem jede abermalige Durchlaufung des Kreisprozesses die gleiche Wirkung nach sich zieht, so ungeheuer kalt, daß die freie Beweglichkeit der Luftmoleküle aufhört. In die Dewarschen Glasbirnen, welche seit 1893 den Dienst von Reservoiren thun, fällt zuerst der wohl bekannte Schnee verfestigter Kohlensäure, und durch diesen, der an den Wänden hängen bleibt, bahnen sich alsbald dünne Streifen flüssiger Luft ihren Weg, bis endlich die Behälter ganz von beiden Bestandteilen angefüllt sind. Wird jetzt der Hahn geöffnet, so beginnt der Ausfluß beider Materien, und da man den Schnee in Filtrierpapier zurückhalten kann, so fließt die Luft als farblose Flüssigkeit bei —200° Temperatur aus, um in schmiedeeisernen Flaschen gefaßt und aufbewahrt werden zu können. Das große Problem muß seit 1895 als endgiltig erledigt gelten. Im Jahre 1898 ist man aber wieder ein gutes Stück weiter gekommen, denn Dewar war so glücklich, den Wasserstoff, auf dessen Verflüssigung man eigentlich mehr nach indirekten Kennzeichen geschlossen hatte, in stabilerem Zustande darzustellen, und Olszewski verfestigte Fluor, Helium und Argon, letzteres zu einer ähnlich wie Eis aussehenden, krystallinischen Masse.

Eine spezielle Physik der verflüssigten Gase wird wohl nur eine Frage kurzer Zeit sein; daß die Kunst des Ingenieurs die große Erfindung bereits in den Dienst des Tunnelbaus zu stellen verstand, wurde oben vermerkt. Auch theoretische Folgerungen hat dieselbe bereits in dem kurzen Lebenszeitraume, der ihr beschieden ist, mehrfach gezeitigt. Inwieweit Dewars Vermutung, daß bei so niedrigen Temperaturen, wie sie bei der Kondensation der Luft in die Erscheinung treten, sämtliche Eigenschaften der Materie, vorab bezüglich der Elastizität und des Phosphoreszierens, vital beeinflußt werden, Bestätigung erfahren wird, muß vorläufig abgewartet werden. Sehr bemerkenswerte Erfahrungen über flüssige

Luft sind aus Eberts Münchener Laboratorium (1900) hervorgegangen. Ein in dieselbe hineingelegtes Metallstück wird negativ elektrisch geladen; da aber bloße Reibung der reinen Luftflüssigkeit keine Elektrisierung bewirkt, so muß der bezügliche Akt auf die Reibung des in ersterer enthaltenen Eises zurückgeführt werden. Dies eröffnet eine neue Perspektive zum besseren Verständnis jener zwischen flüssigem und festem Wasser spielenden Reibungsvorgänge, die den Kern der im Jahre 1885 von L. Sohncke (1842—1897) aufgestellten, von den Meteorologen beifällig aufgenommenen Gewittertheorie bilden. Ebert gelangte dazu, mittelst flüssiger Luft eine Art von Eiselektrisiermaschine herzustellen.

Dem ersten unserer beiden für die Schlußabteilung dieses Abschnittes fixierten Programmpunkte glauben wir vorstehend Genüge geleistet zu haben, und es bleibt uns noch der zweite, dem nicht minder eine hohe prinzipielle Bedeutung beizumessen ist. Drehen sich doch seit zweihundert Jahren die erregtesten Streitfragen um die von Newton eingeführten Fernekräfte, durch deren axiomatische Geltung alle Erörterungen über Wirbelmaterie und Ätherstoß, wie solche bei Descartes, Gassendi, Leibniz, Huygens u. a. gepflogen wurden, überflüssig gemacht werden sollten. Das 18. und beginnende 19. Jahrhundert nahm, den 1764 angestellten schüchternen Versuch einer atomistischen Deutung der Schwerkraft ausgenommen, Newtons Anziehungskraft als eine feststehende Thatsache hin, und der Astronom Maedler meinte sogar um 1850, man zerbreche sich doch ganz überflüssig den Kopf, um die unsichtbaren Seile oder Ketten deutlich zu machen, welche die einzelnen Weltkörper untereinander verbänden. Das Kausalbedürfnis der Menschheit fand jedoch an dieser Resignation keine nachhaltige Befriedigung, und auch Zoellners Versuch, den Knoten dadurch gewaltsam zu lösen, daß man den Elementarbestandteilen der Materie seelische Eigenschaften beilegen und Attraktion mit Lust, Repulsion mit Unlust ausdrücken könnte, schickte sich schlecht für ein die mechanistische Erklärung über Alles stellendes Zeitalter. Das oben erwähnte kritisch-geschichtliche Werk von M. H. K. Isenkrahe, „Das Rätsel der Schwerkraft" (Braunschweig 1879) betitelt, versetzt uns in die Lage, von den zahlreichen und bei aller

Einheitlichkeit des Grundgedankens doch in den Wegen recht sehr abweichenden Hypothesen leicht und sicher Kenntnis nehmen zu können, welche menschlicher Scharfsinn zur Lösung eines wirklichen Welträtsels ausgedacht hat. Es kann nicht unsere Absicht sein, die verschiedenen Lösungsversuche im einzelnen zu analysieren, um so weniger, da dies in der Monographie von Isenkrahe mit dem freilich vorauszusehenden Endresultate geschehen ist, daß keines der angewandten Mittel als einwurfsfrei anerkannt werden kann. In den Jahren 1855, 1868, 1876 und 1877 hat Ph. Spiller (1800—1879), 1880 hat A. Anderssohn, 1872, 1880 und 1884 N. v. Dellingshausen (geb. 1827), 1875 Tolver Preston, 1873 H. Schramm, 1874 und 1876 H. Fritsch seine Ansichten über eine aprioristische Begründung des Gravitationsgesetzes verlautbart. Die meisten der Genannten sind überzeugte Atomistiker, während Anderssohn, ganz im Sinne einer gereinigten cartesianischen Wirbeltheorie, den Ätherdruck als Ursache stetiger Distanzverminderung der beiden sich anziehenden Massen anspricht und v. Dellingshausen von der stetigen Raumerfüllung ausgeht. Wie erwähnt, findet sich in allen diesen Lehrgebäuden ein schwacher Punkt, den die Kritik zur Zerstörung des ganzen Baus benützen kann. Aber auch Isenkrahes eigene Hypothese, welche ein stetiges Bombardement der festen Körper durch Ätherkorpuskeln voraussetzt, wie es Kroenigs kinetische Lehre annimmt, wurde von A. Bock (1891) als unzureichend nachgewiesen. In noch erhöhtem Maße wird jene Theorie der Materie, welche der berühmte Astrophysiker Secchi in seinem Werke „L'unità delle forze fisiche“ (Rom 1864; deutsche Ausgabe, Leipzig 1876) niedergelegt hat, den gegen die Lehre vom Ätherstoße geltend gemachten Bedenken unterliegen, weil ein Widerspruch darin liegt, daß die als unelastisch vorausgesetzten Atome sich den zahllosen auf sie wirkenden Stößen gegenüber geradeso verhalten sollen, als ob sie elastisch wären. Der jüngsten Zeit gehört A. Korns scharfsinniger Versuch an, die Gesetze der Hydrodynamik für die Begreifung der Gravitation nutzbar zu machen, ein Versuch, der nur im engsten Zusammenhange mit den modernsten Kraft- und Atomtheorien, die das 20. Jahrhundert als Vermächtnis vom 19. überkommen hat, die

an diesem Orte ganz von selbst ausgeschlossene, meritorische Würdigung finden kann.

In früherer Zeit begriff man diejenigen Teile der Naturlehre, um welche der nunmehr seinem Ende zueilende Abschnitt sich dreht, unter der Gesamtbezeichnung der allgemeinen Physik, welcher die Physik der Imponderabilien als besondere gegenüberstand. Diese Trennung hat nun zwar für die Gegenwart, welche alle natürlichen Kraftäußerungen nur als Ausflüsse einer einzigen, allumfassenden Kraft zu betrachten geneigt ist, jeden wissenschaftlichen Wert verloren, aber als praktischen Notbehelf, um nicht allzu viele verschiedene Stoffe vereinigen zu müssen, mag man sich dieselbe immerhin gefallen lassen, und so können denn auch einige allgemeine Angaben hier ihren Platz erhalten, die sich eigentlich zugleich auf die Gegenstände des nächsten Abschnittes erstrecken. Die Lehrbücherlitteratur der Physik, welche bis 1850 vergleichsweise recht bescheidene Dimensionen behalten hatte, ist seitdem zu großartiger Ausdehnung gelangt und hat dabei gleichwohl gewiß nichts an innerem Werte eingebüßt. Wir nennen Pouillets „Éléments de physique et de météorologie“, welche 1856 zum siebenten Male aufgelegt und nun von Joh. Müller einer freien deutschen Bearbeitung unterzogen wurden; Müller-Pouillet wußte sein Terrain auch noch zu behaupten, als er zum reinen Müller geworden war, und auch dann, als der Autor längst das Zeitliche gesegnet hatte, blieb sein Werk, welches der Obhut L. Pfaundlers (geb. 1839) und O. Lummers übergeben worden war, immer auf der gleichen Höhe der Beliebtheit. Noch mehr an den Physiker von Fach wendet sich das mehrbändige, auch durch seine Litteraturangaben segensvoll wirkende Handbuch von Wüllner (4. Auflage, 1881—1885). Für eine etwas zurückliegende Epoche war die „Physik auf Grundlage der Erfahrung“ des Schweizers J. R. A. Mousson (1805—1890), deren dritte Auflage 1884 abgeschlossen ward, ein mustergiltiger Ratgeber, und neuerdings versieht diesen Dienst Winkelmanns „Handbuch der Physik“ (von 1891 an unter Beihilfe anderer Fachgenossen herausgegeben). J. C. Bohns (1831—1896) „Ergebnisse physikalischer Forschung“ (Leipzig 1878) und Auerbachs „Kanon der Physik“ (ebenda 1899)

erfüllen sehr gut den Zweck, dem schon einigermaßen Unterrichteten die Durchsicht des Labyrinthes der neueren Forschungsresultate zu erleichtern. In Frankreich hat das ebenfalls den Handbüchern zuzurechnende Werk von J. L. G. Violle (geb. 1841) berechtigten Anklang gefunden, und es ist dieser „Cours de physique" (Paris 1883) auch von jüngeren Physikern deutsch herausgegeben worden. Eine nur einigermaßen genügende Auslese selbst nur der kleineren deutschen Kompendien geben zu wollen, wäre ein vergebliches Unterfangen. An der Grenzscheide der beiden Gattungen von Unterrichtswerken steht das Lehrbuch von W. Eisenlohr (1799—1872), dessen elfte Ausgabe 1876 P. v. Zech veranstaltete; kleineren Umfanges und von den deutschen Studierenden meist gebraucht sind die Leitfäden von W. Krumme (1833—1899) (Berlin 1869 u. ff.), K. F. A. Koppe (1803—1874) (19. Auflage, Essen 1893), Beetz (11. Auflage, Leipzig 1893), Warburg (Freiburg i. B. 1893), Mach (Leipzig 1894) und vor allem von Lommel (München 1893; sechste Auflage, besorgt von W. Koenig, ebenda 1900). An schneller Verbreitung kann wohl kaum ein anderes Lehrbuch mit dem zuletzt genannten sich messen, welches in schwer nachahmlicher Weise Vollständigkeit, Exaktheit und Gemeinverständlichkeit in sich vereinigt. Als Ergänzung verdient die unter der Oberleitung von W. Krebs (geb. 1833) von einer Genossenschaft von Fachmännern bearbeitete „Physik im Dienste der Wissenschaft, der Kunst und des täglichen Lebens" (Stuttgart 1884) Erwähnung. Die mathematische Seite der Physik behandeln in musterhaft klaren Einzeldarstellungen die Königsberger Vorlesungen F. Neumanns, von seinen Schülern Wangerin, Dorn, K. Pape (geb. 1836) u. a. bandweise publiziert; daneben sind G. Kirchhoffs „Vorlesungen über mathematische Physik" (Leipzig 1883—1891) und Christiansens „Elemente der theoretischen Physik" (Leipzig 1894) besonderer Erwähnung würdig. Ungemein vielseitig gesorgt ist für die Bedürfnisse des in die schwierige Kunst des Experimentierens einzuführenden Anfängers. England besitzt ein ausgezeichnetes Werk dieser Art, dessen Verfasser R. T. Glazebrook (geb. 1854) und W. N. Shaw (geb. 1854) sind, und welches durch J. E. Schloessers Verdeutschung (Leipzig 1888) auch bei uns Eingang gefunden hat. In unserer eigenen

Litteratur sind die Anleitungen von A. F. Weinhold (geb. 1841), Kohlrausch, L. G. Külp (1835—1891), E. Wiedemann und Ebert, J. Frick (1806—1875) und F. X. Lehmann (geb. 1823) geschätzte Vertreter dieser Gattung der physikalisch-pädagogischen Litteratur. Auch die periodisch erscheinenden Schriften haben sich vermehrt, obwohl diejenigen, deren der siebente Abschnitt gedachte, noch stets mit Ehren und großer Verbreitung thätig sind. In Deutschland sind neu hinzugetreten Carls „Repertorium für Experimentalphysik, physikalische Technik und astronomische Instrumentenkunde", dessen Redaktion späterhin F. Exner (geb. 1849) übernahm, und die von Professoren der Universität Göttingen geleitete „Physikalische Zeitschrift". Die Didaktik hat in W. P. F. Poskes (geb. 1852) „Zeitschrift für physikalischen und chemischen Unterricht" eine dankenswerte Unterstützung gewonnen.

Als erfreulich darf der immer reger sich entfaltende Sinn für geschichtlich-physikalische Forschung gerühmt werden. Allein auf deutschem Boden sind in den letzten zwei Jahrzehnten vier größere Werke über Geschichte der Physik erwachsen, deren Autoren Poggendorff (1879), A. Heller (1882—1884), F. Rosenberger (1844—1899) (1882—1890) und A. W. E. Gerland (geb. 1838) (1892) sind. Letzterer, der Herausgeber des Briefwechsels von Leibniz und Papin, hat uns auch, im Vereine mit F. Traumüller, eine „Geschichte der physikalischen Experimentierkunst" (Leipzig 1899) geschenkt, die man nur gerne um fünfzig Jahre weiter fortgeführt sehen möchte. Ein für die Entwicklung der physikalischen Prinzipienlehre grundlegendes Werk ist ferner E. K. Dührings (geb. 1863) von der k. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen mit dem Benecke-Preise ausgezeichnete „Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik" (3. Auflage, Berlin 1873), deren Autor nur leider durch seinen Hang zur Polemik und durch unglückliche Lebensschicksale den reichen von ihm ausgestreuten Samen nicht völlig zur Reife gedeihen sah. Auch ein anderes Werk („Neue Grundsätze der rationellen Physik und Chemie", Leipzig 1878) ist von bedeutendem Inhalte. Von Gerland liegt auch eine stattliche Reihe monographischer Untersuchungen über alle Teile der Physikgeschichte vor,

wie man sie sonst nur noch von G. Berthold und E. Wohlwill (geb. 1835) besitzt. Dabei ist auch das Altertum nicht leer ausgegangen, dessen Naturstudium erst in unseren Tagen klarer zu überschauen möglich wurde, nachdem uns H. A. Diels (geb. 1848) mit seiner einzig dastehenden Ausgabe der „Doxographi Graeci“ (Berlin 1879) beschenkt hat. Gerade mit antiken Physikern hat man sich neuerdings recht angelegentlich beschäftigt und in Erfahrung gebracht, daß dort noch gar manches zu holen ist; A. Terquem hat den Vitruvius, Carra de Vaux und W. Schmidt haben den Alexandriner Heron, den Begründer einer wahrhaft rationellen Experimentalphysik, in ernsten Angriff genommen. Die arabische Naturwissenschaft hatte sich der Pflege F. Woepckes (1826—1864), E. Wiedemanns und H. Suters (geb. 1848) zu erfreuen. Auch sieht man mehr und mehr die Notwendigkeit ein, den Erzeugnissen genialer Physiker der Vergangenheit, in deren Schriften noch ungehobene Schätze verborgen liegen, zu neuem Leben zu verhelfen. Von dem zu früh aus seiner Wirksamkeit geschiedenen E. Strauß haben wir eine in Sinn und Wortlaut vorzügliche, auch durch ihren Kommentar das Studium der älteren Physik wesentlich erleichternde Übersetzung (1891) des bedeutendsten unter den unsterblichen Traktaten Galileis erhalten, und die italienische Regierung giebt unter ihrer Ägide seit 1890, als großartig angelegtes Nationalwerk, sämtliche Schriften des großen Florentiners heraus; A. Favaro in Padua (geb. 1847), einer der eifrigsten Vertreter der Geschichte der exakten Wissenschaften in unserem südlichen Nachbarlande, steht an der Spitze dieses Unternehmens. Auf ein paar andere Arbeiten verwandter Natur werden wir im nächsten Abschnitte zu sprechen kommen. Ein außerordentlich wertvolles, in der Litteratur keines anderen Volkes gleich vollkommen dargebotenes Material zur Verfolgung des rapiden Fortschrittes unserer Wissenschaft im letzten Halbjahrhundert gewähren die unter der Ägide der „Deutschen Physikalischen Gesellschaft“ in Berlin erscheinenden „Fortschritte der Physik“. Diese Korporation, der natürliche Sammelplatz für alle einschlägigen Bestrebungen in unserem Vaterlande, entstand im Winter 1845 aus sehr kleinen Anfängen heraus. Nur ein Teil der an Zahl nicht

sehr schwer, an wissenschaftlicher Bedeutung um so schwerer wiegenden Gründungsmitglieder gehörte der Physik berufsmäßig an, nämlich G. Karsten, W. Beetz und H. Knoblauch; der Militärarzt H. Helmholtz, der Offizier W. Siemens, der Chemiker W. H. Heintz (1817—1880) und die angehenden Dozenten der Physiologie E. H. du Bois Reymond (1818—1896) und E. W. Brücke (1819—1892) waren Angehörige befreundeter Grenzterritorien. In Magnus' vielgerühmtem „Kolloquium" hatte sich diese Elitesschar künftiger hervorragender Forscher zuerst zusammengefunden.

Sechzehntes Kapitel.

Licht, Magnetismus und Elektrizität in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts.

Die Optik, mit der wir beginnen, zerfiel den Anschauungen der Fresnelschen Epoche zufolge in zwei voneinander ziemlich unabhängige Teile; es gab eine geometrische und eine physikalische Optik. Im großen und ganzen kann diese Einteilung auch in der Gegenwart noch bestehen bleiben; nur greift in der zweiten Abteilung wieder eine Unterklassifikation Platz, indem zunächst ausschließlich die Bewegung der Lichtwellen ins Auge gefaßt und dann erst gefragt wird, welcher Art diese Wellen seien. Unsere Skizzierung des geschichtlichen Werdeganges wird sich ganz natürlich diese drei Gruppen zur Richtschnur nehmen; wir handeln zuerst von den geradlinigen Lichtstrahlen, sodann von denjenigen Erscheinungen, welche, wie wir früher sahen, die Verdrängung der Emanationstheorie durch die Undulationstheorie erzwangen, und nachdem wir uns weiterhin, ohne Rücksicht auf optische Verhältnisse zu nehmen, mit den polaren Kräften beschäftigt haben, kehren wir zur elektromagnetischen Lichttheorie und zu den erst in allerneuester Zeit auf die wissenschaftliche Tagesordnung gesetzten außergewöhnlichen Strahlungsphänomenen zurück. Möglicherweise sehen wir uns alsdann auch zu einer gewissen Rehabilitierung der korpuskularen Abschleuderungstheorien genötigt.

Was die theoretische und praktische Katoptrik anlangt, so fallen hier die Fortschritte, wie leicht einzusehen, weniger ins Auge. Die Herstellung der Silberspiegel, für die sich insbesondere J. v. Liebig interessierte, und die man dadurch erhält, daß man das geschliffene Glas einseitig mit einem dünnen Überzuge von Silbernitratlösung versieht, hat sich nicht so durchaus bewährt, wie man anfänglich erwartet hatte. Eine große Errungenschaft brachte das Jahr 1851 durch Helmholtz' Augenspiegel, der die Möglichkeit eröffnete, das ganze Innere des Sehorganes bis auf den Grund durchforschen zu können. Daß ein solches Instrument dringend erwünscht sei, darüber waren sich die Ophthalmologen schon lange klar, und aus der liebenswürdigen Autobiographie des berühmten Klinikers A. Kußmaul (geb. 1822) ersehen wir, daß derselbe schon als Studierender an einer dahin zielenden Spiegelkombination arbeitete, die allerdings, wenn wir der gutmütigen Selbstironisierung des Erzählers Glauben schenken, nur an dem einen Übelstande litt, „daß man nichts dadurch sehen konnte“, die aber doch ihren Urheber 1845 in den Stand setzte, eine gekrönte Preisschrift über die Farbenerscheinungen im Auge abzufassen. Helmholtz kombinierte eine Anzahl Glasplättchen in der Weise, daß die Strahlen einer seitlich angebrachten Lampe in das Auge hinein reflektiert wurden, und der aus dem Auge zurückkehrende Strahl, der das Glas senkrecht durchdringt und so in das dicht dahinter befindliche Auge des Beobachters gelangt, erleuchtet das Untersuchungsobjekt so vollständig, daß der Geübte alle Einzelheiten zu unterscheiden vermag. Die Vervollkommnungen, welche dem Augenspiegel in fast ununterbrochener Folge durch Donders, E. A. Coccius (1825—1890), Ruete u. a. zu teil wurden, können an diesem Orte nicht aufgezählt werden; wesentlich war vornehmlich die Ersetzung der Planspiegel durch gekrümmte Spiegel. Th. Ruete (1810—1867) gehört auch zu den hervorragendsten Schriftstellern (1867) über den bekannten Apparat zum plastischen Sehen der Dinge, den Wheatstone 1838 als Spiegelstereoskop erfunden, Brewster 1849 in das Linsenstereoskop umgewandelt und Dove 1859 sehr einläßlich als optisches Werkzeug behandelt hatte, indem er z. B. nachwies, daß mittelst desselben falsches und

echtes Papiergeld mit Sicherheit unterschieden werden kann. Wie weit es inzwischen die Stereoskopie gebracht hat, darüber orientiert eine 1894 von Stolze veröffentlichte Schrift.

Unverhältnismäßig Bedeutenderes ist geleistet worden für die Disziplin der Dioptrik, deren Zweck es ist, den Durchgang der Lichtstrahlen durch gekrümmte Gläser oder Linsen zu untersuchen. In der Regel werden dieselben eine sphärische Krümmung besitzen, weil das Schleifen parabolischer Flächen mit allzu großen Schwierigkeiten verbunden ist, und weil zudem, solange die Apertur nur klein ist, der Unterschied zwischen Kugel und Umdrehungsparaboloid nicht besonders bemerkbar wird. Dagegen erfordert ein mit Astigmatismus behaftetes Auge, das also infolge fehlerhafter Krümmungsverhältnisse nicht Punkte, sondern kleine Kreise und Striche wahrnimmt, eine Korrektur durch Zylinderlinsen; die Lehre von den astigmatischen Eigenschaften ist von Donders, Airy, Stokes, O. Becker (1828—1896) theoretisch und augenärztlich fest begründet worden, und die mathematischen Betrachtungen, welche über zylindrisch geformte Gläser und ihr Verhalten gegenüber den Lichtstrahlen sich anstellen lassen, finden sich erschöpfend in einer 1868 erschienenen Monographie von F. E. Reusch (1812—1891). Die Lehre von den Eigenschaften der zentrierten Linsensysteme, die so gut wie einzig in der Praxis vorkommen und dadurch von anderen abweichen, daß die Mittelpunkte sämtlicher Einzellinsen in gerader Linie liegen, beruht, wie gezeigt ward, auf den Arbeiten von Gauß; die von ihm neu eingeführten Begriffe sind von C. G. Neumann (geb. 1832) und Reusch in den Jahren 1866 und 1870 systematisch ausgestaltet worden. An Gauß knüpfte in zahlreichen Publikationen, die sogar zum Teile noch 1898 von Finsterwalder aus dem Nachlasse herausgegeben werden konnten, der Münchener Mathematiker L. Seidel (seit 1866) an und leitete mit thunlichster Strenge, d. h. also unter weitgehender Heranziehung der Anfangsglieder jener unendlichen Reihen, auf die man bei den Entwicklungen geführt wird, alle die verschiedenen Formeln her, deren der praktische Dioptriker bedarf, um den Schliff der Linsen richtig ausführen zu können. Unbekannt war man damals noch mit der Thatsache, daß

jener R. Hamilton, dessen wir in der Geschichte der Mathematik, wie auch der theoretischen Mechanik, als eines der schärfsten Denker zu erwähnen hatten, schon in den dreißiger Jahren noch tiefer in die Theorie der einer Linsenverbindung notwendig anhaftenden Fehler eingedrungen war; die Methode mußte aber, da die Arbeit, vom Quaternionenkalkül beherrscht, sozusagen mit Ausschluß der Öffentlichkeit erschienen war, 1890 von M. F. Thiesen wieder entdeckt werden. Neben Seidel ist als ein unermüdlicher Arbeiter auf dem Gebiete der Dioptrik auch der Ungar J. Petzval (1807 bis 1891) zu nennen, dessen äußerst umfangreiche Studien leider litterarisch nicht über einige kleinere Abhandlungen (zumal „Bericht über die Ergebnisse einiger dioptrischer Untersuchungen", Budapest 1843) und praktisch nicht über die Konstruktion eines allerdings ganz ausgezeichneten Porträtobjektives hinaus gelangt sind. Um die unsäglich mühsamen Rechnungen bewältigen zu können, welche die Verfolgung des Ganges einer größeren Anzahl von Strahlen durch das Linsensystem hindurch nötig machte, stellte das Kriegsministerium eine ganze Anzahl mathematisch gebildeter Zöglinge des Bombardierkorps zur Verfügung. Von einem anderen Manne, der auf diesem Gebiete sehr erfolgreich thätig war, hat man erst allerneuestens durch einen Hinweis erfahren, den S. v. Merz (geb. 1824) anläßlich seiner Prüfung der Fraunhoferschen Originalobjektive 1898 gab; der Optiker Arnold hatte, wie seine in totale Vergessenheit geratene Schrift („Die neueren Erfindungen und Verbesserungen in betreff der optischen Instrumente", Quedlinburg 1833) ausweist, schon für das Objektiv seines berühmten Vorgängers ganz exakt die sphärische und die chromatische Aberration bestimmt. In der chronologischen Folge schließen sich an Seidel, der allerdings in der hier in Rede stehenden Zeit auch selbst noch rüstig weiter arbeitete, der berühmte Astronom Hansen (1871) und H. F. A. Zinken-Sommer (geb. 1837) an, der später durch seine Hinneigung zur Musik diesen Beschäftigungen ganz entfremdet ward, aber schon als ganz junger Mann durch seine Berechnung der Bildkrümmung bei optischen Apparaten (1864) eine hohe Befähigung für solche feine Untersuchungen bekundet hatte, die dann auch seine späteren Veröffent-

lichungen nicht Lügen straften. Im Gegensatze hierzu ist Abbe mehr denn dreißig Jahre hindurch diesen Forschungen treu geblieben; sein sogenannter „Sinussatz“ von 1873 wies dem praktischen Kalkul neue Wege, und sechs Jahre später war er in die Lage versetzt, die Aufhebung der aus der Art der Kugelkrümmung entspringenden Strahlenabweichung nicht nur, wie bisher, für die Mitte im strengen Wortsinne, sondern für eine ganze Mittelregion durchzuführen. H. Krüß und E. Moser haben in diesem Geiste die Konstruktion von Fernrohren und die zweckmäßigste Anordnung der Linsengläser in die Wege geleitet, und Finsterwalder hat die betreffenden Formeln auch für den in der Praxis, der größeren Helligkeit halber, wichtigen Fall aufgestellt, daß die Apertur, der von den Strahlen durchdrungene sphärische Flächenraum, größer wird. Eine sehr große Anzahl von Einzelaufsätzen, die H. A. v. Steinheil (1832—1893) den verschiedensten Fragen der Lehre von der Brechung in Linsen und Prismen widmete, legt Zeugnis ab von den Normen, nach welchen in der berühmten optischen Offizin dieses Namens zu München gearbeitet wird; keine früher begründete Werkstätte war so wenig auf bloße Empirie und so ausschließlich auf die Anwendung exakter Theorie begründet, wie die Steinheilsche. Wie weit es die geometrische Optik als solche zu bringen im stande ist, kann man aus dem von dem Leiter des genannten Ateliers, zusammen mit E. Voit (geb. 1836), verfaßten Werke (1891) ersehen, welches, wiewohl unvollendet, diesen Teil der Lehre vom Lichte zu einem gewissen Abschlusse bringt.

Einen ganz neuen Ausblick hat allerdings die von H. Bruns 1895 begründete Eikonaltheorie eröffnet. Wie in allen Teilen der Mechanik, dieses Wort im weitesten Sinne gefaßt, die Kraftkomponenten dadurch erhalten werden, daß man mit einer beherrschenden mathematischen Funktion, dem Potentiale, gewisse Operationen, die des Differentiierens, vornimmt, so kommt der als Eikonal (εἰκών, Bild) bezeichneten Größe die Eigenschaft zu, ganz ebenso stets die Strahlenkoordinaten aus sich ableiten zu lassen. Die Wellentheorie des Lichtes hat, wie man sieht, bei allen diesen Forschungen kein entscheidendes Wort mitzusprechen gehabt. Den Anschauungen E. Strehls jedoch zufolge, die seit 1894 bekannt zu

werden anfingen, wird Lichtbrechung künftig nicht ohne stete Berücksichtigung der Lichtbeugung behandelt werden können, und an die Stelle des trigonometrischen Ausdruckes wird ein sogenanntes Beugungsintegral zu treten haben. Strehl gab in diesem Geiste eine neue Theorie der verschiedenen Aberrationen, des Astigmatismus und des als Koma (besser Kome; κόμη, Haar) bezeichneten Diffraktionsphänomenes. Speziell für das Mikroskop hat Abbe schon früher die angedeutete Erweiterung des Untersuchungsgebietes als erforderlich erkannt und dadurch weitere Erfolge in dessen Verfeinerung erzielt.

Dadurch wurde auch eine Erkenntnis von höchster theoretischer Bedeutung ermöglicht. Vor etwa dreißig bis vierzig Jahren setzte man, angeregt durch die großartigen Entdeckungen, wie sie in Ehrenbergs „Mikrogeologie" (Leipzig 1854—1856) und anderen Arbeiten dieses Meisters der Mikroskopie enthalten waren, die ungemessensten Hoffnungen auf diese Instrumente, mittelst deren man nach und nach die atomistische Struktur der Körper aufdecken zu können vermeinte. Zumal die katadioptrischen Mikroskope G. B. Amicis (1786—1863) schienen die Träger dieses Fortschrittes werden zu sollen, und als von 1860 an die Werkstätten von Merz in München und E. Hartnack (1826—1891) in Potsdam, welch letzterer sich bei dem bekannten Ansbach-Pariser Optiker G. Oberhäuser (1798—1868) ausgebildet hatte, mit der Verfertigung der nach Amici eingerichteten Immersionslinsen vorgingen, schien das goldene Zeitalter für die Erforschung der Kleinwelt herangebrochen zu sein. Allein Abbe, dem sehr bald Helmholtz folgte, wies nach, daß eine Grenze der mikroskopischen Leistung existiere, die eben in den Beugungsbildern ihre Ursache hat, und wenn mithin das Objekt unter eine gewisse Größe herabsinkt, so geht so viel gebeugtes Licht verloren, daß dem Helligkeitsdefekte nur durch Vergrößerung der Apertur begegnet werden muß, die doch keinenfalls größer als 180° werden kann. Die Immersion, d. h. die Füllung des kleinen Raumes zwischen Objektiv und Deckglas mit Wasser oder Öl, begegnet dem Übelstande, aber selbstredend auch nur zum Teile. So ist denn diesem Eindringen des Menschen in die Mysterien des Raumes zunächst ebenso eine un-

überschreitbare Schranke gesetzt, wie andererseits der Vergrößerung der raumdurchdringenden Kraft des Fernrohres durch die Mitvergrößerung der Unruhe der Luft eine Grenze gezogen erscheint. Bei alledem leistet das vervollkommnete Vergrößerungsglas doch auch jetzt schon die vorzüglichsten Dienste; Botanik, Mineralogie — man denke an die Dünnschliffe —, Physiologie und klinische Medizin erkennen es dankbar an, wie man dies aus den bezüglich 1850, 1867, 1879, 1883 und 1894 herausgekommenen Schriften von P. Harting (1812—1885), S. Schwendener (geb. 1829), H. M. Willkomm (1821—1895), L. Dippel (geb. 1827) und Friedländer-Eberth ersieht. Die gewaltigen Fortschritte der Neuzeit, wie sie großenteils den uns von der Thermometrie her erinnerlichen Bestrebungen der Jenaer Schule zu danken sind, erläutert wissenschaftlich S. Czapski („Theorie der optischen Instrumente", Breslau 1893). Von anderen notwendig hier noch zugehörigen Arbeiten seien die schönen, rein geometrischen Theorien der Linsenverbindungen von A. Beck (geb. 1872) und G. Ferraris (geb. 1847) genannt, dessen Werk in erweiterter Bearbeitung von F. F. Lippich (geb. 1838) den Deutschen zugänglich wurde; eine Dioptrik der geschichteten Linsensysteme, die in der physiologischen Optik der Tierwelt eine Rolle spielen, gab 1877 L. Matthiessen, eine rechnerische Behandlung der mehrteiligen Fernrohrobjektive 1885 A. Kramer. Ungefähr gleichzeitig versuchte sich F. C. L. Keßler (1824—1896) an der Aufgabe, ein zentriertes System brechender Sphären durch eine einzige Kugelfläche zu ersetzen. Da es begreiflicherweise auch dem kunstverständigsten praktischen Optiker begegnen kann, daß seine Linsen Ungleichförmigkeiten, sogenannte Schlieren, enthalten, die eine örtliche Unregelmäßigkeit der Lichtbrechung bedingen, so ist es gut, wenn man sich von dem Vorhandensein solcher Stellen von vornherein überzeugen kann. Dies leistet vorzüglich der 1864 von A. J. J. Toepler (geb. 1836) konstruierte Schlierenapparat, dem aber eine über diesen nächsten Zweck weit hinausgehende Bedeutung zukommt; insbesondere lassen sich mit ihm die Vibrationsphasen der uns aus dem vorigen Abschnitte erinnerlichen tönenden Flammen gut beobachten, so daß er geradezu als Vibroskop wirkt.

Die terrestrische Lichtmessung verfügt seit 1843 über Bunsens von Desaga modifiziertes und seitdem ungemein verwendbares Fettfleckphotometer; auf undurchsichtigem Papiere wird ein kleiner Teil durch Tränkung mit Stearin u. dgl. durchscheinend gemacht und nun durch die beiden der Vergleichung unterstellten Lichtquellen von zwei Seiten her beleuchtet, bis völlige Neutralität eingetreten ist; alsdann verhalten sich die Lichtstärken umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen beider Lichter von dem Flecke. Wenn man nach dem Vorgange von Lummer und Brodhun zwei total reflektierende Prismen mit den reflektierenden Flächen, deren eine schwach gekrümmt sein muß, aneinander drückt, erreicht man den von Bunsen angestrebten Zweck in noch bequemerer Weise. H. Wild (geb. 1833) gab 1865 ein Polarisationsphotometer, W. Siemens 1875 das mit der lichtempfindlichen Eigenschaft dieser Substanz geschickt operierende Selenphotometer, Zoellner 1879 das Skalenphotometer an, beruhend auf Crookes' Feststellung, daß man durch die Umdrehungsgeschwindigkeit des viel besprochenen Radiometers die lebendige Kraft und mit ihr die Intensität des durch die Lichtschwingungen bewirkten Eindruckes messen könne. Um verschiedenfarbiges Licht photometrisch vergleichen zu können, dient v. Vierordts Spektralphotometer, welches sich unter den Händen H. C. Vogels auch auf himmlische Messungen anwendbar erwiesen hat. Von Lommels neuem Grundgesetze der Photometrie, welches das Lambertsche verdrängt hat, ist bereits oben die Rede gewesen.

Zu denjenigen Erscheinungen, deren experimentelle Untersuchung und mathematische Fixierung dem Leben des Menschen die größten Vorteile gewährt, gehört das künstliche Licht, und so mußte denn natürlich auch eine physikalische Beleuchtungstechnik entstehen, deren wichtigste Ziele sich dahin charakterisieren lassen, daß erstens in möglichst einfacher und billigster Weise ein möglichst großer Erhellungseffekt erzielt, und daß zweitens eine genaue Vergleichung der verwendeten Lichtquelle mit einer leicht definierten Lichteinheit erreicht werde. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts galten die nach einem französischen Chemiker benannten Milly-Kerzen für besonders geeignet, ihres gleichmäßigen

Brandes halber als Vergleichsmuster zu dienen, und für solche Fälle, die eine höhere Genauigkeit erheischten, gab man der Carcel-Lampe den Vorzug, welche mit einem Uhrwerke verbunden war, und deren Docht solchergestalt eine stetige und gleichmäßige Zufuhr von Öl erhielt. An ihre Stelle wieder trat, etwa seit 1840, die Regulatorlampe von Franchot, die, mit Brennern nach dem Systeme A. Argands (1755—1803) versehen, auf den französischen Leuchttürmen den Fresnelschen Polygonallinsen Konkurrenz machten. Erst um 1860 kamen, sofort in verschiedenen Konstruktionen, die Petroleumlampen in Aufnahme, über die in der Öffentlichkeit die Gasbeleuchtung, deren Anfänge wir im chemischen Abschnitte kennen lernten, den Sieg davontrug, hauptsächlich unter dem Einflusse des von W. Siemens inaugurierten Fortschrittes. Freilich war und ist noch immer die Art und Weise, wie die Straßenlaternen entzündet werden müssen, ein Stein des Anstoßes; das geistvolle Verfahren des Astronomen Klinkerfues, auf hydraulischem Wege alle Lampen gleichzeitig in Brand zu setzen, erwies sich als ein für die Anwendung in größerem Maßstabe zu verwickeltes. So drang denn, nachdem durch Davy und Joule der zwischen Kohlenstiften erzeugte elektrische Flammenbogen genauer erforscht worden war, die elektrische Beleuchtung immer mehr als die brauchbarste und angesichts ihrer Leistungsfähigkeit auch empfehlenswerteste, weil mindest kostspielige, durch, und heute machen Straßen, öffentliche Gebäude, Bahnhöfe, Schiffe und Eisenbahnwagen von ihr den umfassendsten Gebrauch; innerhalb kleinerer Räume hat sich auch das Gasglühlicht des österreichischen Chemikers Auer v. Welsbach einen gewissen Ruf erworben, welches dadurch hergestellt wird, daß man über die Flamme den vielgenannten „Strumpf" bringt, einen durch Imprägnieren mit Nitraten vor schneller Zerstörung geschützten Hohlkörper aus Baumwollengewebe, dessen Anwendung allerdings die Flamme am Aussenden der langwelligeren Farben verhindert. Die elektrischen Lampen von Gaiffe, Jaspar, Werner Siemens, Gramme kamen jeweils zu besonderer Geltung, bedurften aber sämtlich einer Regulierungsvorrichtung, um den Voltabogen stets bei gleicher Länge zu erhalten. Dem

half höchst erfolgreich P. Jablochkow (1847—1894) durch seine elektrische Kerze ab, für deren Verbreitung er in den achtziger Jahren eine eigene Fabrik ins Leben rief. Neben dem sogenannten Bogenlichte kamen um 1880 die Inkandeszenz- oder Glühlampen auf, in denen ein Kohlenfaden — Metalldraht würde zu leicht abschmelzen — in steter Glut erhalten wird. Von den verschiedenen Apparaten dieser Art haben sich besonders diejenigen von Edison und W. Swan (geb. 1818) Anerkennung verschafft, und auch die Bügellampe von H. Maxim (geb. 1840), deren Anordnung auf thunlichste Vergrößerung der Licht aussendenden Fläche abzielt, ist für viele Zwecke sehr passend. Die Verbreitung des elektrischen Lichtes hat nur insofern ein gewisses Hindernis gefunden, als durch sogenannten Kurzschluß leicht Feuersgefahr hervorgerufen wird. Indessen lassen sich die zahllosen Lichtbringer, die man zu nennen verpflichtet wäre, wenn es auf Vollständigkeit abgesehen wäre, sämtlich nicht so gut als Lichteinheiten verwenden, wie die von dem genialen deutschen Elektrotechniker F. v. Hefner-Alteneck (geb. 1845) ersonnene künstliche Lichtquelle. Man ist übereingekommen, als deutsche Lichteinheit den Lichteffekt einer v. Hefnerschen Amylacetatlampe gelten zu lassen, welche gleich 0,88 englischen Walratkerzen zu setzen ist. Die Beleuchtungstechnik aber hat in allerjüngster Zeit noch einen gewaltigen Fortschritt erlebt durch die Herstellung der Nernst-Lampe, erfunden von einem der thätigsten unter den zeitgenössischen deutschen Vertretern der physikalischen Chemie; für sie ist das elektrische Fluidum, um diesen Ausdruck zu gebrauchen, nicht mehr das Hauptagens, sondern es thut nur noch in sekundärem Amte seine Dienste. Schon seit längerer Zeit kennt und benützt man das Magnesiumlicht; der Höhlenforscher vermöchte sich ohne dasselbe ebensowenig zu behelfen wie der Arzt, dem die Untersuchung der dunklen Innenräume im menschlichen Körper obliegt. Nun sind aber in neuerer Zeit Eigenschaften dieser Lichtgattung entdeckt worden, die ihr eine besondere Beachtung sichern mußten. Nach Rogers steht sie von allen Lichtarten dem Sonnenlichte deshalb besonders nahe, weil beidemale eine Verstärkung der Strahlungsenergie im violetten Teile des Spektrums beobachtet wird. Magnesium kann aber

leicht entzündet werden; die von einem brennenden Zündhölzchen entwickelte Wärme reicht dazu hin, und so ist denn die Lampe von Walter Nernst wegen ihrer Leuchtkraft, Dauerhaftigkeit und Handlichkeit ohne jede Übertreibung als der Lichtbringer der nächsten Zukunft anzusprechen. Als ein Spezialkapitel der praktischen Photometrie hat man jenes aufzufassen, welches die Helligkeitsverhältnisse von Wohnräumen und Schulsälen behandelt; sei es nun, daß die diffuse Strahlung des Sonnenlichtes, sei es, daß eine Anzahl von Kerzen oder Lampen das Licht verbreitet. Sehr wertvolle Aufschlüsse über diese Dinge und über die Art und Weise, wie die Anforderungen der Schulhygiene ihre Befriedigung finden können, sind von Ophthalmologen und Physikern, so besonders von J. Ritz (geb. 1848), geliefert worden.

Über die Frage nach der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes sich auszusprechen, wird die bessere Gelegenheit erst bei der Lehre von den elektrischen Wellen gegeben sein. Wir wenden uns zunächst der Dispersion zu, welche ja schon durch ihr bloßes Bestehen den Anstoß zur Begründung der im 2. Abschnitte behandelten Spektralanalyse gegeben hat. Um die Theorie der Farbenzerstreuung hat sich E. Ketteler (geb. 1836) sehr verdient gemacht und insbesondere auch deren Beziehungen zur Absorption der Prüfung unterworfen. Diese zumeist selektiv wirkende Eigenschaft der Körper, je nach ihrer Eigenart Strahlen von einer gewissen Art den Durchgang zu verwehren, ist es, die das Auftreten der Körperfarben bedingt. Diese Farben haften aber der Materie nicht immer fest an, sondern sie können auch durch äußere Einflüsse hervorgerufen werden, um nach längerer oder kürzerer Zeit wieder zu verschwinden. Ein Körper ist, der von E. Wiedemann eingeführten Begriffsbestimmung gemäß, in Luminescenz, wenn er Licht ausschickt, ohne daß eine Temperaturerhöhung bemerkbar wird, was wohl damit zusammenhängt, daß innerhalb der Moleküle ein Zustand lebhafter Schwingung obwaltet. Die gelegentlich schon früher, so von Goethe (Abschnitt VIII), wahrgenommene Fluoreszenz ist eigentlich erst 1845 durch J. Herschel als ein des Studiums würdiger Gegenstand erkannt worden; man hat es mit einer anomalen Dispersion zu thun, die zuerst am grünen Flußspat

— daher der Name — in die Augen fiel, allgemach aber sich als sehr verbreitet herausstellte. Fluorcalcium zeigt also bei Tagesbeleuchtung einen blauen, das gelbe Uranglas zeigt einen grünen, grünes, aufgelöstes Chlorophyll zeigt einen blutroten Schimmer. Eine erste, geschlossene Theorie des Fluoreszenzphänomenes stellte zu Anfang der fünfziger Jahre Stokes auf, die aber nach und nach derjenigen weichen mußte, für welche Lommel von 1862 bis an sein Lebensende in zahlreichen Veröffentlichungen eingetreten ist. Was Eisenlohr 1854 nur unvollkommen erhärtet hatte, bestätigte und bewies er durch Versuche ebenso wie durch die analytische Deutung der bezüglichen Wellenerscheinungen: Die Fluoreszenz ist das optische Seitenstück dessen, was man in der Akustik als Kombinationston kennt. Jeder fluoreszierende Körper wird am kräftigsten von derjenigen Strahlengattung zum Selbstleuchten angeregt, der gegenüber er die kräftigste Absorption bethätigt. So wird, wie die spektroskopische Zerlegung ergiebt, das von einem solchen Körper ausgesandte Licht zusammengesetzt, selbst wenn einfaches Licht den Leuchtzustand bewirkte. Auch sonst noch gab und giebt die Lichtverschluckung Anlaß zu wichtigen Beobachtungen und Schlußfolgerungen. Der Mineraloge Haidinger entdeckte, eine Bemerkung J. Biots weiter verfolgend, im Jahre 1845 den Dichroismus und Pleochroismus der Krystalle; wie manche Krystallblättchen von den beiden aus der Doppelbrechung entspringenden Strahlen nur den einen — den außerordentlichen — durchlassen, dagegen den anderen — den ordentlichen — absorbieren, ebenso giebt es auch eine auswählende Lichtretention in allen übrigen Krystallen. Endlich ist ungefähr im gleichen Jahre ein Erscheinungskomplex sehr in den Vordergrund getreten, mit dem man sich bereits zu Galileis Zeiten eifrig beschäftigt, und über den im folgenden Jahrhundert Canton lehrreiche Experimente angestellt hatte. Wir meinen die Phosphoreszenz, die Fähigkeit mancher Substanzen, ohne oder durch ein gewisses Zuthun im Dunkel nachzuleuchten. Ein fundamentales Werk lieferte hierüber (1811—1820) Pl. Heinrich (1758—1825). Rieß, Draper und A. E. Becquerel (geb. 1820) haben sodann die Hauptgesetze des Phosphoreszierens ermittelt, und

der letztere faßte Alles, was man darüber vor dreißig Jahren wußte, in einem 1868 zu Paris erschienenen Werke zusammen, dessen noch heute kein auf gleichem Gebiete Arbeitender entraten kann. Schon hatte er (1859) den Physikern das Phosphoroskop und mit diesem einen Apparat gegeben, dessen Benützung ihm und seinen Mitarbeitern die wichtigsten empirischen Thatsachen lieferte. Von der freiwilligen Phosphoreszenz abgesehen, die bei Pflanzen und Tieren auftritt, die W. G. Hankel (1814—1898) auch am faulenden Fleische studierte, und die nach Ehrenberg bekanntlich großenteils das herrliche Bild des Meerleuchtens hervorruft, kann solch sekundäres Licht erzeugt werden durch Temperatursteigerung, durch mechanische Einwirkung, durch Elektrizität und Besonnung. Zwischen Fluoreszenz und Phosphoreszenz scheint kein eigentlicher Unterschied zu bestehen, indem fluoreszierenden Stoffen durchweg auch einige Phosphoreszenz eigen zu sein scheint. Vielleicht rühren die immerhin vorhandenen Abweichungen, die hauptsächlich darin gipfeln, daß die Phosphoreszenz weit länger als die ihr verwandte Erscheinung nachwirkt, von einer verschiedenen Koërzitivkraft der Körper her, wie man solche beim Magnetismus erforscht hat. A. H. Emsmann (1810—1889), der 1861 diese Ansicht aufstellte, wollte auch von der gewöhnlichen oder positiven Fluoreszenz eine negative getrennt wissen, deren Kennzeichen eine Verstärkung der Brechbarkeit der von solchen Körpern ausgehenden Strahlen sein sollte, und Tyndall kam 1864 mit seiner Annahme der Kaloreszenz auf den gleichen Endzweck hinaus, doch hat sich dieser Gegensatz späterhin nicht mehr aufrechterhalten lassen. In viel späterer Zeit ist der Phosphoreszenz eine sehr wichtige Rolle im Bereiche der Spektralforschung zugeteilt worden. Wir wissen, daß die infrarote und ultraviolette Fortsetzung des gewöhnlichen Spektrums nur thermisch und chemisch, nicht aber optisch wahrnehmbar ist, wenn es auch schon ungewöhnlich veranlagte Augen gegeben haben soll, die im kurzwelligsten Teile lavendelgraue Farbentöne gesehen hätten. Indem aber Lommel 1889, unterstützt von L. Fomm, mit der Phosphorophotographie vorging, vermochte er die mindest brechbaren Spektrumsteile wirklich darzustellen. Und gleicherweise gelingt es, durch Vorhalten von Platten, welche mit gewissen phosphores-

zierenden Materien bestrichen sind, auch das entgegengesetzte Ende des Spektrums in einem matten Lichte erstrahlen zu lassen.

Von der Entwicklung der Photographie mußte bisher an zwei Orten, im achten und im vierzehnten Abschnitte, gehandelt werden. Welch ungemein große Fortschritte die Technik, Lichtbilder anzufertigen, in den letzten Jahrzehnten gemacht hat, ist auch demjenigen bekannt, der physikalischen Studien ferner steht. Daß hier nur einige Punkte von prinzipieller Bedeutung zur Erörterung gelangen, wird niemand tadeln wollen. Zunächst, nachdem erwähntermaßen 1851 das Kollodium als ein sehr brauchbarer Ersatz der Silbersalze aufgetreten war, verblieb man längere Zeit bei dieser Methode; die älteren Versuche, Gelatine, die im erweichten Zustande mit Brom- und Silbersalz versetzt war, als Emulsion auf Glasplatten aufzutragen und erstarren zu lassen, waren zwar gelungen, konnten aber so lange nicht eigentlich ausgedehntere Verwendung finden, als nicht (1878) Bennett die Empfindlichkeit dieser den Lichteindruck aufnehmenden Schicht durch Erwärmung gewaltig erhöht hatte. Dem nachteiligen Umstande, daß die natürlichen Körperfarben absolut nicht zur Geltung kommen, begegnete H. W. Vogel (geb. 1834), unter den wissenschaftlichen Förderern dieses Zweiges der angewandten Physik wohl der bedeutendste der Zeitgenossen, indem er die isochromatischen Platten herstellte, die zwar noch nicht etwa die Farben als solche wiedergaben, wohl aber Gelb, Rot, Grün und Blau durch die verschiedene Helligkeit dieser Farbentöne zum Ausdrucke brachten. Ein zweites Meisterstück war die Benützung des Eosins, des schön roten Tetrabromfluoreszeïns; die Eosinplatten, von A. Riggenbach in Basel u. a. angewandt, haben uns erst zu brauchbaren Wolkenphotogrammen verholfen, wie sie uns in den Wolkenatlanten die besten meteorologischen Dienste leisten. Man besitzt solche Werke von K. Singer (1891) und Manucci (1893); maßgebend aber war für diese auch an ein größeres Publikum sich wendenden Kartensammlungen diejenige, zu deren Fertigstellung sich 1889 Neumayer, P. W. Koeppen (geb. 1846) und der Schwede H. H. Hildebrandsson (geb. 1838) miteinander verbanden. Die ungemein mannigfaltigen Modelle photographischer Kameras haben für die

Wissenschaft als solche weniger Interesse, obwohl gewiß nicht zu leugnen ist, daß der kleine Kodak-Apparat, den ein Einzelner bequem bei sich tragen kann, reisenden Geographen und Naturforschern zu einer Fülle wertvoller Skizzen verhilft. Seit die für die Astrophysik unentbehrlichen Momentverschlüsse allgemeinen Eingang gefunden haben, wurde es möglich, nicht nur kontinuierliche Serienbilder, sondern auch, unter Edisons Vortritt, die rasch beim Publikum beliebt gewordenen Kinetoskope und Kinematographen zu erzeugen, welche mittelst objektiver Abbildung auf einem Schirme anscheinend wirkliche Nachbildungen eines Bewegungsvorganges in Miniatur entstehen lassen; in der Sekunde können bis zu 15 Einzelaufnahmen gemacht werden, und indem nun die durchsichtigen Positivbilder auf einem langen Celluloidbande vorüberziehen, bekommt der Beschauer den Eindruck, daß er die verkleinerte, d. h. aus der Ferne gesehene Wirklichkeit vor sich habe. Auch Mutoskop und Biograph der jüngsten Vergangenheit und Gegenwart beruhen auf einem ganz ähnlichen Prinzipe. Die Mikrophotographie hat Abbe auf ihre theoretische Leistungsfähigkeit geprüft und gefunden, daß durch Ausnützung der chemisch wirksamsten Strahlen noch ziemlich weit über die bisherigen Grenzen werde hinausgegangen werden können. P. Jeserich (1888) und Marktanner (1890) lehren die bei der Wiedergabe mikroskopischer Objekte zu beobachtenden Maßnahmen, während das Ganze der Photographie in den Werken von G. Pizzighelli (1891—1892) und Vogel (von 1890 an) abgehandelt wird. Speziell für die Momentphotographie ist J. M. Eders Anleitung (1886—1888) zu vergleichen. Nach einer ganz neuen Seite hin hat die Lichtbildertechnik ein umfangreiches Terrain dadurch erobert, daß sie sich zur Photogrammetrie oder Bildmeßkunst erweiterte. Die geometrische Grundidee derselben, Konstruktion einer Karte oder eines Bildes aus zwei räumlich distanten Aufnahmen, ist nicht neu, sondern geht weit ins 18. Jahrhundert zurück, aber an eine Verwirklichung ersterer war erst infolge der exakten Abbildungen des in Rede stehenden Bauwerkes oder Terrainstückes ernsthaft zu denken. Im Jahre 1854 schlug zuerst A. Laussedat (geb. 1819) vor, den als Camera lucida bekannten optischen

Apparat in den Dienst dieser geodätischen Aufgabe zu stellen, und ein Dezennium später zog er zu gleicher Absicht die Photographie hervor, die sich bald als ein Hilfsmittel raschen Arbeitens bekundete und deshalb auch als Phototachygraphie den Beifall der Mappeure fand. Ihre Feuerprobe bestand dieselbe bei der Kartierung der zerrissenen, überaus schwer zugänglichen Grenzgebirge zwischen Frankreich und Piemont, wo der italienische Topograph Paganini Örtlichkeiten schnell und gut kartographisch festlegte, die jedem anderen Verfahren die allergrößten Schwierigkeiten entgegengesetzt haben würden. Seit dem Ende der achtziger Jahre ist die Photogrammetrie auch noch auf einen weiteren Zweig der Terrainaufnahme mit dem größten Erfolge angewandt worden; Finsterwalder that dar, daß phototachymetrisch eine bisher ganz ungeahnte Schärfe in der Abbildung der Gletscher zu erzielen sei, und seitdem ist durch ihn selbst, sowie durch die von ihm angeregten Beobachter G. Kerschensteiner, H. Heß, Schunck, Blümcke u. a. für eine ganze Anzahl — vorzugsweise tirolischer — Gletscher die Isohypsendarstellung so exakt durchgeführt worden, daß man über die Zunahme oder das Schwinden der Eismassen die allersichersten Aussagen zu machen befähigt wurde. Der Phototheodolit von K. Koppe (geb. 1844) erleichtert das Ganze der Messungen vorzüglich; Anweisungen zur Ausführung derselben gaben ebenderselbe (1889), sowie F. Steiner (1891) und F. Schiffner (1892). Geradezu einen Triumph hat die Bildmeßkunst auch bei architektonischen Reproduktionen gefeiert, in denen sich Stolze und Meydenbauer ausgezeichnet haben.

In der neuesten Zeit hat die Photographie eine Verbesserung erfahren, die rein praktisch zwar noch lange nicht an ihrem Ende angelangt ist, theoretisch aber bereits zu wichtigen Einsichten in das Wesen der Farbenlehre geführt hat. Nicht mehr bloß durch die Verschiedenheit ihrer Energie sollen die von den verschieden gefärbten Partien des Originales ausgehenden Strahlen auf das Bild wirken, sondern es sollen die natürlichen Farben selber auf diesem zum Vorschein kommen. Um die Erforschung der Bedingungen, unter denen dies geschehen kann, haben sich besonders der Luxemburger G. Lippmann (geb. 1845) und O. Wiener (geb. 1862)

bemüht, wogegen das eigentlich technische Moment schon von einer Vielzahl gewiegter Kenner der Photographie, unter denen etwa Jolly, Ducos du Hauron und De St.-Florent besonders zu nennen wäre, allseitig abgehandelt wurde. Eine erste orientierende Übersicht über die Photochromographie besitzt man von Dumoulin („Les couleurs réproduites en photographie“, Paris 1894). Als Grundzug derselben kann man die Herstellung mehrerer Negative bezeichnen, deren jedes, indem für die anderen Farben eine Abblendung stattfand, nur eine einzige, bestimmte Grundfarbe enthält. Diese einfarbigen Negative werden dann so übereinander gelegt, wie es notwendig erscheint, um die der Natur entsprechende Zusammenwirkung der verschiedenen Färbungen hervorzubringen. Ebenso wie beim Buchdruckprozesse in Naturdreifarben teilt Jolly die Gesamtheit der Pigmente oder Farbentöne, die dem abzubildenden Gegenstande anhaften, in die drei Fundamentalfarben Rot, Gelb und Blau, und indem er ein sogenanntes Raster mit drei durchsichtigen Liniensystemen zu Hilfe nimmt, bewirkt er durch dieses eine Aufnahme auf ein und derselben lichtempfindlichen Platte, indem eben die drei Farben auch nur die ihnen entsprechenden Lichtwellen durchlassen. Die Platte enthält jetzt drei farbige Rastersysteme, und diese liefern ein Diapositiv, d. h. ein Glasbild, welches beim Durchsehen positiv erscheint. Die Herstellung der Raster (Liniensysteme) geschieht mit besonderen Liniiermaschinen. Wird endlich das Diapositiv mit dem in drei Farben rastrierten Originale zur Deckung gebracht, so kommt das farbige Gesamtbild zu stande.

Um auch noch von den sehr wichtigen theoretischen Ergebnissen einiges zu sagen, welche wir als ein Nebenprodukt der auf die Farbenphotographie gerichteten Bemühungen bezeichnen dürfen, so erwähnen wir, daß die Lehre von den stehenden Lichtwellen, wie sie durch Interferenz einfallender und reflektierter Wellen entstehen, daraus ihre Vorteile gezogen hat. Eine gegen den Spiegel geneigte Ebene schneidet zwei Systeme unter sich paralleler und gleichabständiger Geraden aus, und zwar wächst der Abstand dieser letzteren, wenn man die Schnittebene mit der spiegelnden Ebene einen recht kleinen Winkel bilden läßt; wäre er ein rechter, so

würde die Entfernung für die unarmierten Sinne unmeßbar klein, während diese, falls nur die Neigung eine sehr geringe ist, sogar bis zu 2 mm gesteigert werden kann. Wiener nun hat es eben (1890) dahin gebracht, den Vorgang sinnenfällig zu machen. Ein Glasplättchen und ein Häutchen von Chlorsilberkollodium wurden so miteinander verbunden, daß ein prismatischer Raum zwischen ihnen frei blieb, und in dieser keilförmigen Luftschicht konnte sich nun, wenn das Häutchen gegen den Spiegel gekehrt war, eine stehende Oszillation ausbilden. Jenen geraden Linien, die mit den Bäuchen der stehenden Welle korrespondieren, entspricht ein Maximum, und denen, die mit den Knoten zusammenfallen, entspricht ein Minimum von photographischer Wirkung, so daß also nachher abwechselnd helle und dunkle Streifen das Häutchen bedecken. Ein Jahr später war dann Lippmann so glücklich, in der Verfolgung dieser geistvollen Manier, auf die Natur einen Zwang zur Entschleierung ihrer Geheimnisse auszuüben, eine Photographie des Farbenspektrums zuwege zu bringen. Es wirken bei dem von ihm angewandten Verfahren nur jene Ebenen, in denen die Abweichung der Welle von der Normallage besonders groß ist, auf die Silbersalze, und das Häutchen zerteilt sich in eine Reihe außerordentlich dünner Blättchen, deren Dicke jeweils der halben Wellenlänge einer Farbe gleich ist. Auch P. Glans Arbeiten über Farbenreproduktion und über das Spektroteleskop, welche dem Jahre 1896 angehören, wollen in dieser Hinsicht beachtet sein. In letzter Instanz sind die von der Photographie wiedergegebenen Farben identisch mit den bekannten Farben dünner Blättchen, welche seit Newton die Physiker beschäftigen. Drückt man eine gekrümmte Glasplatte von sehr großem Radius an eine berührende ebene Glasplatte an, so entstehen um den Berührungspunkt herum die abwechselnd ein Blau, Rot u. s. w. erster, zweiter und höherer Ordnung erkennen lassenden Newtonschen Farbenringe. Dieselben in allen Teilen aus den Gesetzen der Undulationstheorie herzuleiten, ist Sohncke und Wangerin (1881) gelungen.

Die physikalische Lichttheorie, welche die sämtlichen Erscheinungen auf Transversalschwingungen des nirgendwo fehlenden interkorpuskularen Äthers zurückführt, war bereits in der

ersten Hälfte des Jahrhunderts, wie uns der siebente Abschnitt zeigte, so fest fundiert worden, daß für die Folgezeit, insoweit nicht die Grundauffassung über die Natur des Lichtäthers sich änderte, keine tief einschneidenden Neuerungen zu verzeichnen sind. Um die unter dem Namen der Polarisation zusammengefaßten Bethätigungen des gespiegelten und gebrochenen Lichtes zu einfacherer und auch eindrucksvollerer Darstellung zu bringen, legte J. G. C. Noerrenberg (1787—1862) — nicht Noerremberg — im Jahre 1858 den seitdem nach ihm benannten Polarisationsapparat der Karlsruher Naturforscherversammlung vor, dessen Variante ein bekannter mikroskopischer Polarisationsapparat ist, welcher auch Objekte geringster Ausdehnung in polarisiertem Lichte zu untersuchen erlaubt. Eingehend hat man in neuerer Zeit die schönen Liniensysteme analysiert, welche sich bei der chromatischen Polarisation ergeben und insbesondere sowohl in gepreßtem als auch in gekühltem Glase hervortreten. Die Drehung der Polarisationsebene in Krystallen ist gleichfalls vielfach beachtet worden, nachdem zuerst durch N. Soleil (1798—1878), der gelegentlich mit Arago und Silbermann vereint arbeitete, die betreffende Eigenschaft des Quarzes ermittelt und gleichzeitig (1847) der Nachweis geführt worden war, daß mit Hilfe dieser Thatsache, die auch bei anderen krystallinischen Körpern in verschiedenem Maße zu konstatieren ist, ein Saccharimeter, ein Instrument zur quantitativen Bestimmung des in Lösungen und Flüssigkeiten überhaupt vorhandenen Zuckerquantums, herzustellen ist. Der Soleilsche Apparat dient, natürlich mannigfach verbessert, Chemikern und Steuerbeamten dazu, Prüfungen auf Zuckergehalt vorzunehmen. Es giebt rechts- und linksdrehende Krystalle; im ersteren Falle muß man, um eine Auslöschung der Farben vom Rot bis zum Violett zu bewirken, den Analysator im Sinne des Uhrzeigers drehen, und im anderen Falle im entgegengesetzten Sinne. Von Flüssigkeiten drehen rechts beispielsweise Terpentin- und Zitronenöl, sowie eben die verschiedenen Zuckerlösungen, und als linksdrehend sind bekannt Lösungen von Chinin, Gummi und die Mehrzahl der ätherischen Öle. Die sogenannten Halbschattenapparate, wie man sie u. a. von L. L. Laurent (geb. 1840) besitzt, und die Polaristrobo-

meter, deren bekanntestes Bild angegeben hat, gewähren eine besonders leichte Handhabung. Auch als Diabetometer wird das Saccharimeter von den Ärzten angewendet, um den Grad der Zuckerruhr — Diabetes mellitus — eines Kranken ausfindig zu machen. Über einen besonders wichtigen Fall von Drehung der Polarisationsebene werden wir weiter unten in anderem Zusammenhange zu sprechen veranlaßt sein. Die neuere Krystalloptik erfuhr eine mächtige Anregung dadurch, daß Reusch 1869 Glimmerblättchen, deren Achsen einen stets um den gleichen Betrag wachsenden Winkel bildeten, zur Säule aufschichtete und an diesem künstlichen Krystalle ähnliche Eigenschaften nachwies, wie sie von den Naturkrystallen bereits bekannt waren.

Die Bestimmung der Länge der Lichtwellen, welche seit Erfindung des sogenannten Beugungsgitters verhältnismäßig vereinfacht erschien, hat in dem uns hier beschäftigenden Zeitraume an Exaktheit ungemein gewonnen. Auf Fraunhofer und Schwerd folgten (1856) E. Esselbach (1832—1864) und eben um diese Zeit W. Eisenlohr, sowie etwas später Ångström. Die Cauchysche Formel, welche Brechungskoëffizienten und Wellenlänge unter Beiziehung dreier Konstanten verknüpft, hat sich nicht als vollständig zureichend erwiesen, und es haben deshalb Baden Powell, v. Lommel und E. B. Christoffel (1829—1896) Ersatzformeln aufgestellt. Im ultravioletten Teile des Spektrums sind von M. A. Cornu (geb. 1841) noch Strahlen von 0,3 Mikrons Wellenlänge nachgewiesen worden. Man kann also, wenn man mit E. v. Lommel eine Vergleichung zwischen Licht und Schall anstellt und den Begriff der Oktave angemessen erweitert, dem Gesamtspektrum einen Bereich von fünf Oktaven zusprechen, wovon allerdings fast vier vom infraroten Teile in Anspruch genommen werden. Bei irdischen Lichtquellen ist, wenn man sich nach den Ermittlungen von V. Schumann (1890) und H. Rubens (1898) richtet, die Ausdehnung sogar eine noch weit größere und reicht bis an neun Oktaven heran. Wie diese Wellenbewegung auf das Licht-perzipierende Organ wirkt, soll kurz im nächsten Abschnitte besprochen werden, welcher auch der sogenannten physiologischen Optik gerecht zu werden hat. Dagegen soll, um den Abschluß

der eigentlichen Optik zu kennzeichnen, in aller Kürze noch darauf hingewiesen werden, daß 1850 Foucault, der vielgewandte Pariser Experimentator, noch einen überzeugenden Beweis für die Richtigkeit der Vibrationstheorie gegenüber der Emanationshypothese erbracht hat. Es läßt sich nämlich darthun, daß, wenn erstere zutrifft, das Licht sich im Wasser langsamer als in der Luft fortpflanzen muß, und daß es sich wirklich so verhalte, hat Foucaults sinnreiche Versuchsanordnung, die sogar ein Messen der beiderseitigen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten gestattet, außer Zweifel gesetzt. Es sei zum Schlusse erwähnt, daß die moderne physikalische Optik von M. E. Verdet (1824—1866) und A. Leotival („Leçons d'optique physique“, Paris 1869—1872), von P. Drude aber in allgemeinerer Auffassung („Physik des Äthers“, Leipzig 1897) dargestellt worden ist. Anhangsweise ist es auch Pflicht, darauf hinzuweisen, daß eine in neuerer Zeit sonst minder intensiv beachtete Teildisziplin, die Theorie der Farben, systematisch und auch für das ästhetische Moment in der von J. W. v. Bezold (geb. 1837) herausgegebenen „Farbenlehre im Hinblick auf Kunst und Kunstgewerbe“ (Braunschweig 1874) bearbeitet ward, einem Werke, das sich bei den beiden Kategorien, für die es berechnet ist, rasch Eingang verschafft hat.

Indem wir uns nunmehr dem Magnetismus zuwenden, schließen wir für diesen Abschnitt alle diejenigen Erscheinungen aus, welche in die Wirkungssphäre des „großen Magneten Erde“, mit W. Gilbert (1600) zu reden, gehören. Die Tragkraft von Magnetstäben und von Hufeisenmagneten untersuchte P. Haecker, ein einfacher Kaufmann in Nürnberg, an zahllosen Exemplaren, die er sich durch Magnetisierung von Stücken seines großen Eisenlagers verschafft hatte. Die Versuche fallen vorzugsweise in die vierziger und fünfziger Jahre; das Haeckersche Gesetz, welches die Tragkraft aus dem Gewichte, bei sonst ganz gleichen Bedingungen, herzuleiten ermöglicht, wurde durch G. S. Ohm den Fachmännern bekannter gemacht und hat sich im wesentlichen bewahrheitet. Anderweite Arbeiten auf diesem Gebiete haben 1839 Lenz und Jacobi, 1852 C. J. Dub (1817—1873), 1870 v. Waltenhofen, 1881 Werner Siemens, 1882 A. Waßmuth (geb. 1844), 1893

E. T. Jones geliefert, und Dub hat gegen Ende der sechziger Jahre das Wesen des magnetischen Sättigungszustandes näher zu bestimmen gesucht. Der späteren Zeit gehören an die Studien über Permeabilität eines Stoffes für die magnetischen Kraftlinien. Alle Stoffe sind im allgemeinen durchdringlich für jene, denn wenn man zwischen den Polen eines Magneten und einem Eisenkörper eine dünne Platte von beliebigem Materiale anbringt, so wird das Eisen doch angezogen. Aber allerdings ist von allen bekannten Stoffen Eisen der permeabelste, derjenige, bei dessen Durchdringung den Kraftlinien der geringste Widerstand entgegengesetzt wird. Den ihm einmal mitgeteilten Magnetismus hält jeder in diesen Zustand versetzte Körper mit größerer oder geringerer Zähigkeit zurück; die Koërzitivkraft ist durchaus nicht immer die gleiche. Zu diesem Begriffe steht ein zweiter in sehr enger Beziehung, auf dessen Formulierung man allerdings erst geführt worden war, nachdem man Eisenkerne durch galvanische Ströme, die um erstere herumgeführt worden waren, magnetisch zu machen gelernt hatte, der aber auch unabhängig von dieser speziellen Art des Magnetisierungsaktes, wenn auch minder drastisch, in die Erscheinung tritt. Es ist die sogenannte magnetische Hysteresis (magnetischer Rückstand), auf die man erst in den letzten Jahren, als auf ein störendes Moment bei der Verwendung magnetelektrischer Maschinen, aufmerksam geworden ist. K. Heinke hat unser Wissen von derselben übersichtlich geschildert. Weiches Eisen wird, wenn es der Strom durchfließt, nicht sofort magnetisch, sondern es dauert eine kurze Zeit, bis die zuerst widerwilligen Moleküle sich in die ihnen aufgezwungene Richtung eingestellt haben, und umgekehrt giebt es beim Aufhören dieser Einwirkung den empfangenen Magnetismus nicht augenblicklich wieder ab. Bei gleicher Stromstärke, oder allgemeiner bei gleicher Intensität der magnetisierenden Wirkung, ist somit der erregte Magnetismus kleiner, wenn der Erregungsakt sich allmählich verstärkt, als wenn sich derselbe allmählich abschwächt. Zumal Elektromagnete sind also niemals völlig zuverlässig; es findet in ihnen, wie man sich etwas drastisch ausdrückt, ein Kriechen der magnetischen Ladung, statt. Nach den Studien, die 1885 J. A. Ewing (geb. 1855), 1887 Lord Rayleigh,

1897 J. Klemenčič (geb. 1853) angestellt haben, setzt sich jeder magnetische Übertragungsprozeß aus zwei Teilen zusammen, und es ist nur der erste Akt, der unmittelbar mit den magnetischen Kräften zusammenhängt, wogegen der zweite, noch nicht völlig aufgeklärte, erst beginnt, wenn der erste bereits ganz und gar abgelaufen ist.

Wenn es richtig ist, daß ein bislang unmagnetischer Körper dem auf ihn einwirkenden Impulse, sei es des Bestreichens mit einem Magnetstabe oder eines Induktionsprozesses, nicht unverzüglich nachgiebt, weil eben seine kleinsten Teile aus ihrer Ruhelage heraus- und so gedreht werden, daß ihre magnetischen Achsen sich parallel einstellen, so darf man von vornherein vermuten, daß Drillung eine gewisse magnetisierende Kraft ausüben werde. Daß dem wirklich so ist, bewies Wertheim im Jahre 1852. Ist ein Magnetstab gesättigt, hat er also eine so starke magnetische Beeinflussung erfahren, daß keine Erhöhung derselben mehr angängig ist, so verliert er durch Torsion an magnetischer Stärke und gewinnt dieselbe, wenigstens größtenteils, wieder zurück, wenn die tordierende Kraft zu wirken aufgehört hat. Auch eine Verlängerung von Magnetstäben, die sich, wie man kurz sagt, im Bereiche eines anderweiten Magnetfeldes von hinreichender Intensität befinden, beobachtete Joule. Nach G. Wiedemann und Beetz (1860) muß man glauben, daß die einfachste Molekularhypothese, die man ausdenken kann, diejenige nämlich, daß eine Drehung der Partikeln bis zu paralleler Achsenstellung das Magnetischwerden eines Körpers bedingt, vollkommen zureicht, um die Kausalzusammenhänge zwischen mechanischen und magnetischen Vorgängen zu erklären; man sieht dann auch ein, weshalb bloße Erschütterung eine gewisse Richtkraft ausübt und den betroffenen Körper schwach magnetisch macht. Als natürliches Seitenstück des gewöhnlich allein beachteten Paramagnetismus ist uns früher der von Faraday entdeckte Diamagnetismus entgegengetreten. Mit ihm haben es verschiedene neuere Schriften zu thun, von denen hier diejenigen eine Stelle finden mögen, die 1867 von W. Weber, 1878 von A. v. Ettingshausen (geb. 1850), 1879 von Boltzmann und endlich 1881 von J. Schuhmeister veröffentlicht worden sind.

Indem wir nun zur Elektrizitätslehre fortschreiten, erinnern wir zuvörderst daran, daß zwischen Magnetismus und Elektrizität kein eigentlicher Gegensatz mehr als bestehend anerkannt werden kann. Die Ampèreschen Elementarströmchen und die Faraday-Maxwellsche Theorie der Kraftlinien beseitigen gleicherweise alle Unterschiede zwischen den beiden Hauptbestandteilen, in welche nach älterer Auffassung die „Lehre von den unwägbaren Flüssigkeiten" zerfiel. Ziemlich unabhängig von den neueren Auffassungen und in der Hauptsache ziemlich auf dem früheren Standpunkte geblieben ist nur die Lehre von der Reibungselektrizität, die wir an die Spitze stellen wollen. Inhaltlich freilich ist auch dieses elementarste Kapitel ein ganz anderes, ungemein reichhaltigeres geworden, als es dies unter der alleinigen Herrschaft der alten Scheibenelektrisiermaschine gewesen war.

Einen vorzüglichen Kanon dieses Abschnittes der Elektrizitätslehre, eines der besten Handbücher über ein physikalisches Spezialkapitel, das wir überhaupt besitzen, lieferte zu Anfang unseres Zeitraumes P. Th. Rieß (1804—1883), und dieses Werk („Die Lehre von der Reibungselektrizität", Berlin 1853) hatte auch noch eine Nachfolge, indem der Autor 1867 und 1879 zwei Bände seiner gesammelten Abhandlungen, wie sie in langem und fruchtbarem Forschen über Fragen des gleichen Untersuchungsgebietes entstanden waren, erscheinen ließ. Es giebt kaum einen Punkt innerhalb desselben, das trotz seiner Beschränkung doch immerhin noch weit genug ist, zu dessen Klärung er nicht beigetragen hätte; er untersuchte die Bedingungen für die Kondensation, das Wesen des Rückstandes, die Wirkung des Elektrophors, die Modalitäten der Funkenbildung und schuf vor allem einen Apparat, mittelst dessen, was den älteren Elektrometern unerreichbar war, eine scharfe Messung elektrischer Kraftwirkungen bezweckt wurde. Das elektrische Luftthermometer stammt in seiner ursprünglichen Konstruktion, die aber nach und nach manche Vervollkommnung erfuhr, aus dem Jahre 1841 (Abschnitt VIII); die am sichersten erkennbare und am leichtesten quantitativer Feststellung zugängliche Aktion des elektrischen Funkens oder Entladungsschlages, seine Wärmewirkung, wird für die Maßbestimmung ausgenützt. Das neue Instrument

legte eine Probe seiner Leistungsfähigkeit sehr bald dadurch ab, daß sein Erfinder die von P. O. C. Vorßelman de Heer (1809 bis 1841) und K. W. Knochenhauer (1805—1875) gefundenen Gesetze betreffs der im Schließungsdrahte entwickelten Wärme verifizieren konnte. Der zuletzt genannte Physiker gehört zu denjenigen, die für die Reibungselektrizität die lebhafteste Teilnahme an den Tag legten; seine Theorie der Leidener Flasche (1869) bezeichnet jedenfalls den Höhepunkt derjenigen Untersuchungen, die, wenn der Ausdruck erlaubt ist, mit den Hilfsmitteln der älteren Schule die elektrischen Probleme behandelten. Neben ihm sind unter den Deutschen besonders R. H. A. Kohlrausch (1809—1858) und F. F. G. Dellmann (1805—1870) zu nennen. Ersterer, der mit dem Sinuselektrometer (1853) der Gesamtlehre von der Elektrizität ein wertvolles Geschenk gemacht hat, verbesserte auch den Kondensator und erklärte die Eigenart des elektrischen Rückstandes; von Dellmann hat man eine wichtige Studie über den Elektrizitätsverlust, und er war jedenfalls auch einer der ersten von Denen, die die Eigenschaft der Luft als Dielektrikum richtig erfaßten. Das Wesen der Flaschenentladung machte B. W. Feddersen (geb. 1832), den wir auch häufig in gelehrten Streit mit Knochenhauer verwickelt finden, zum Gegenstande eingehender Prüfung. Schon Wheatstone hatte es versucht, die Dauer des elektrischen Funkens und nächstdem die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität überhaupt zu ermitteln. Er photographierte 1858 das bandförmig in die Länge gezogene Funkenbild und that mittelst desselben dar, daß der Entladungsakt einen oszillatorischen Charakter an sich trägt. Das Prinzip der Wheatstone-Feddersenschen Methode nahm 1876 Werner Siemens in seiner Weise wieder auf und fand, daß sich die Elektrizität in Eisendraht mit einer Sekundengeschwindigkeit von 240000 km fortpflanze — eine wahrscheinlich etwas zu kleine Zahl, wie sich später herausstellen wird. Wieder einem anderen Bereiche der elementaren Elektrizitätslehre gehören die seit 1777 bekannten Lichtenbergschen Figuren an, mit denen sich auch die neuere Zeit wieder mehr beschäftigte. So machte v. Obermayer 1890 von denselben eine gelungene Anwendung auf die Aufgabe, das

Vorzeichen der dem sogenannten St. Elms-Feuer anhaftenden Elektrizität zu bestimmen, und E. Lommel erzeugte 1876 elektrische Staubfiguren im Raume, die sich mithin als das dreidimensionale Gegenstück jener merkwürdigen Gebilde auffassen ließen. Genauere Messungen über die als Dielektrizitätskonstante bezeichnete Größe wurden immer häufiger vorgenommen; Boltzmann that dies zuerst 1873 für Isolatoren, dehnte seine Bestimmungen bald darauf auch auf Gase aus und erkannte, daß die krystallinischen Körper ihre sonst bekannte Eigenschaft, anisotrop zu sein, auch in diesem Betreffe nicht verleugneten. Die seit Canton (1759) bekannt gewordene Pyroelektrizität, die sich darin äußert, daß krystallinische Säulenkörper beim Erwärmen entgegengesetzte elektrische Ladungen an ihren Enden erhalten, war und blieb die wissenschaftliche Domäne Hankels, der hiermit im Jahre 1841 begann und noch 1883 eine lange Reihe von Beobachtungen über das thermoelektrische Verhalten der verschiedensten Krystalle — Pyromorphit, Strontianit, Titanit u. s. w. — bekannt machte. Auch ein Druck in der Richtung der elektrischen Achse bewirkt bei manchen Krystallen, daß sie elektrisch werden; bei amorphen Körpern zeigt sich die Erscheinung auch, wiewohl minder deutlich. Die Elektrizitätsmessung gewann, von anderen Apparaten abgesehen, eine gewichtige Stütze in W. Thomsons (Lord Kelvins) Quadrantenelektrometer von 1867, dem sich gleichzeitig, im Interesse absoluter Bestimmungen, ein Wageelektrometer zur Seite stellte.

Nach außen jedoch machte wohl das größte Aufsehen der Umstand, daß es gelang, der historisch ehrwürdigen Elektrisiermaschine, welche nach alter Art durch direkte Reibung die Erregung der elektrischen Kraft bewirkte, einen ganz unverhältnismäßig rascher und kräftiger arbeitenden Apparat zu substituieren. Die Influenzelektrisiermaschine benützt die altbekannte Erfahrung, daß auch bloße Annäherung eines elektrisch geladenen Körpers einen zweiten, noch unelektrischen in den polaren Zustand versetzt. Die Erfindung wurde, wie wir dies schon so oft in diesem Werke zu konstatieren hatten, so gut wie gleichzeitig und unabhängig von Toepler und W. B. Holtz (geb. 1836) gemacht und zwar im

Jahre 1864. Die Funken, welche eine solche Maschine liefert, haben eine namhaft größere Schlagweite, zumal wenn jene noch mit einer sogenannten Verstärkungsröhre ausgerüstet ist. Aus den Spitzen der aufgesetzten Kämme sieht man, gerade wie bei einem St. Elms-Feuer, die positive Elektrizität als Glimmlicht in Form von Lichtgarben ausströmen. Die von Lord Kelvin 1867 hergestellte Wasserinfluenzmaschine beruht auf der trefflich ausgenützten Thatsache, daß Wasser, welches durch einen elektrisierten Metallzylinder hindurch tropft, durch Influenz eine elektrische Ladung von entgegengesetzten Vorzeichen empfängt.

Indem wir hiermit von der durch Reibung oder Annäherung erzeugten Elektrizität Abschied nehmen, wenden wir uns den so überaus mannigfaltigen Verbesserungen zu, welche die Lehre von der Berührungselektrizität im Verlaufe des in Rede stehenden Zeitraumes zu verzeichnen gehabt hat. Zunächst sei gedacht der von Erfolg gekrönten Bestrebungen, das galvanische Element, dem in seiner älteren Form die so wichtige Eigenschaft der Konstanz infolge des Gegen- oder Polarisationsstromes so ziemlich fehlte, derart zu gestalten, daß die von ihm gelieferten Ströme für längere Frist eine wenigstens angenähert gleiche Stärke besitzen. Daniell (1836), Grove und Cooper (1839), Bunsen (1841) hatten geeignete Kombinationen fester und flüssiger Bestandteile in Vorschlag gebracht, aber noch glücklicher erwies sich das seit 1859 viel gebrauchte Element, das J. H. Meidinger (geb. 1831) konstruierte; dieser Gelehrte, der unter den Begründern einer spezifisch technischen Physik einen sehr geachteten Platz einnimmt und sich durch die Angabe einer großen Anzahl sinnreicher Apparate auszeichnete, unter denen wieder die neueren Füllöfen besonders hervorgehoben zu werden verdienen, ist zwar eigentlich nur auf dem von Daniell betretenen Wege weiter fortgeschritten, hat aber doch auch einen neuen Gedanken in diesen Teil des Galvanismus hineingetragen. Indem nämlich ein mit Kupfervitriol gefülltes Rohr in die eigentliche Füllflüssigkeit hinabtaucht, welche in diesem Falle eine Lösung von Magnesiumsulfat ist, wird erstgenannter Körper aufgelöst und verbleibt in diesem Zustande in Verbindung mit der Kupferplatte, während um die Zinkplatte eine Bittersalz-

lösung sich herumlegt. Die poröse Thonwand, durch die Daniell beide Lösungen auseinanderzuhalten trachtete, wird so überflüssig gemacht. Etwas später (1868) trat G. Leclanché (1839—1882) mit seinem Elemente hervor, welches durch die Pariser Firma Barbier im großen hergestellt wurde und zumal zur Erregung des Stromes im Dienste der Haustelegraphie weitgehende Verwendung fand; hier sind zwei durch eine Thonzelle geschiedene Vermittlungsstoffe benützt, indem die innere Kohlenplatte in einem Mantel aus Braunsteinpulver steckt, während der im äußeren Glasgefäße befindliche Zinkstab sich in einer Salmiaklösung befindet. Eine für den medizinischen Gebrauch passende tragbare Batterie aus solchen Elementen gab den Praktikern Beetz in die Hand, der auch 1881 die Lehre von der Volta-Polarisation theoretisch neu bearbeitete. An die Ärzte wendet sich auch die Batterie des Engländers A. Smee (1818—1877), eine Aneinanderreihung von Zellen, in denen sich eine mit sogenanntem Platinmohr überzogene Silberplatte zwischen zwei metallisch verbundenen Zinkplatten eingeschaltet findet, während verdünnte Schwefelsäure in die Tröge gegeben ist; jene Platinlösung ist durch eine starke Absorptionskraft gegen Wasser- und Sauerstoff gekennzeichnet. Die Verbindung der einzelnen Elemente ist eine solche, daß man sie durch einen einfachen Mechanismus aus der Flüssigkeit entfernen oder mit dieser wieder in Kontakt bringen kann, d. h. die Smeesche Batterie ist eine Tauchbatterie. Konstante Ketten mit nur einem Elemente hat man in späterer Zeit von H. Müller und Pincus erhalten. Die Gasbatterien, denen — im Gegensatze zu den Ladungssäulen — die Gase von außen zugeführt werden, wurden von Grove 1830 erfunden, von Poggendorff (1844) und W. Thomson (1864) aber wesentlich vervollkommnet.

Inzwischen war aber dem Prinzipe, den sekundären Strom thunlichst unschädlich zu machen, eine ganz neue Seite abgewonnen worden, und mit dem Erscheinen der ersten Sekundärelemente oder Akkumulatoren stellte sich die längst bekannte Naturkraft der Technik in einer neuen und überaus verwendungsfähigen Gestalt zur Verfügung. Der erste, der Bleiplatten mit Hilfe des Gegenstromes lud, war G. Planté (Abschnitt XIV), der 1860 mit

Recht verkünden durfte, es sei ihm geglückt, „une pile secondaire d'une grande puissance“ zusammenzustellen. Das Geheimnis des neuen Ladeprozesses bestand einfach darin, daß derselbe sehr lange Zeit, durch ganze Wochen, unterhalten wurde, so daß der Sauerstoff genötigt wurde, die als Anode dienende Platte ganz zu durchdringen. So wird Elektrizität in jener geradezu aufgespeichert und kann später wieder nach Willkür aus ihr herausgezogen werden. Indem man die Ladung durch Dynamomaschinen besorgen läßt, bringt man es dahin, weit über die Hälfte der aufgewendeten und in den Bleiplatten deponierten Arbeit aus diesen zurückzugewinnen. Das Fauresche Element, bestehend aus ebensolchen Platten, die aber zuvor mit Mennige überzogen worden waren, erleichtert und beschleunigt erheblich die Fertigstellung einer Sekundärbatterie, die also nun, wenn man es braucht, mit hochgespannten Strömen zu arbeiten gestattet. Als W. J. Sinsteden (geb. 1803) im Jahre 1854 zuerst anläßlich einer Studie über elektromagnetische Induktionsapparate den bald nachher so großartig verwirklichten Grundgedanken des elektrischen Magazines andeutete, ahnte er dessen volle Tragweite wohl selbst noch nicht; heute aber ist auch in nichtfachmännischen Kreisen einige Kenntnis von der Bedeutung der Akkumulatoren verbreitet, ohne deren Mitwirkung beispielsweise ein Trambahnverkehr ohne die Möglichkeit direkter Stromzuleitung undenkbar wäre. Die neuen, nach dem Systeme Khotinsky gegossenen Platten, die von horizontalen Rillen durchzogen und durch die Fauresche Paste wieder ausgeglättet sind, haben sich als für große Elektrizitätswerke vorzüglich nutzbar erwiesen. Vielleicht die umfassendste Thätigkeit auf dem Gebiete der Fabrikation von Akkumulatoren entfaltet die große Fabrik zu Hagen i. W., die über Art und Ausdehnung ihres Betriebes auch eine sehr belehrende Schrift (1890) erscheinen ließ. Das Sekundärelement ist übrigens auch in theoretischen Dingen von gar nicht zu unterschätzendem Werte, wie dies Plantés Werk von 1883 bezeugt. J. G. Wallentin (geb. 1852) hat uns dasselbe in guter deutscher Übersetzung zugänglich gemacht. Planté sucht in anerkennenswert aufrichtiger Weise die Grundzüge seiner Erfindung bereits bei Physikern aus dem Beginn des 19. Jahrhunderts, bei

N. Gautherot (1753—1803) und dem im dritten Abschnitte einläßlich behandelten J. W. Ritter, aufzuzeigen, aber diese geschichtliche Reminiszenz kann nicht darüber täuschen, daß doch erst fünfzig Jahre später der Boden für eine so tief greifende Neuerung gebührend zubereitet war. Die vielfältigsten Anwendungen des galvanischen Stromes werden durch das Sekundärelement ermöglicht oder doch erleichtert; des ferneren giebt der Autor an, wie man durch dasselbe die merkwürdigsten Licht- und Ausströmungserscheinungen hervorrufen, den elektrischen Funken zum Wandern bringen, Glas elektrisch gravieren, Blitz und Hagel täuschend nachbilden und eine Reihe kosmophysikalischer und meteorologischer Erscheinungen durch Parallelexperimente verständlich machen könne. So sehr sich die Wissenschaft stets zu vergegenwärtigen hat, daß bei diesen Versuchen nicht selten nur äußerliche Ähnlichkeit, nicht abere innere Kausalverwandtschaft in Mitte liegen dürfte, wird doch niemand dem Streben Plantés hohes Interesse abzusprechen gewillt sein.

Von der Ausnützung der Wärmewirkungen des Stromes, deren Gesetze 1844 von Lenz, 1849 von J. Müller, 1859 von Zoellner und, mit eingehender mathematischer Begründung, 1874 von A. K. v. Waltenhofen (geb. 1828) ausgemittelt wurden, wird am zweckmäßigsten an dieser Stelle gehandelt werden. Man erkannte, wie die Temperaturerhöhung eines durchflossenen Drahtes abhängig ist von dessen Leitungswiderstand und Dicke, von seinem Emissionsvermögen und von der Stromstärke. Die Sprengtechnik wurde 1834 von R. Hare (1781—1858) und 1842 von G. Roberts soweit ausgebildet, daß die Minenzündung unter Wasser sich ganz leicht gestaltete, indem man eigens hierfür gearbeitete Patronen an den gewünschten Ort brachte und die aus ihnen hervorragenden Drähte in eine gesichert aufgestellte Batterie einschaltete. Daß sogar die Reibungselektrizität diesem Zwecke dienstbar gemacht werden könne, bewiesen 1855 die im allergrößten Maßstabe ausgeführten Versuche, die der österreichische General v. Ebner an Telegraphenleitungen anstellte. Die berüchtigten Hellgate-Felsen, welche früher die Einfahrt in den East River bei Newyork sehr gefährlich machten, wurden in zwei Absätzen, 1876

und 1885, durch furchtbare, künstlich erregte Explosionen aus dem Wege geschafft; als Sprengstoff diente Nitroglycerin, als Elektrizitätsquelle eine Riesenbatterie von 920 Elementen, welche im nämlichen Augenblicke, da die Hand eines Kindes durch Drücken auf den verhängnisvollen Knopf die Stromschließung bewirkte, 3680 Patronen entzündete. Für den entsprechenden Vorlesungsversuch ist Plantés Vorrichtung, die natürlich von einem Sekundärstrome Gebrauch macht, sehr empfehlenswert. F. Wächter hat in neuerer Zeit („Die Anwendung der Elektrizität für militärische Zwecke", Wien 1883) die Maßnahmen beschrieben, die sowohl im Minenkriege als auch sonst im Kriegswesen — in vorderster Reihe steht die rasche Unbrauchbarmachung von Eisenbahnen — eine einschneidende Bedeutung gewonnen haben.

Anderweite Anwendungen des Galvanismus können nur eine summarische Erwähnung finden. Über die elektrische Beleuchtung hatten wir bereits Veranlassung uns auszusprechen; die Elektrotherapie soll im nächsten Abschnitte gestreift werden. Die Anfänge der galvanischen Reproduktion lernten wir früher kennen, und es fand sich da, daß gleich der erste Erfinder der Galvanoplastik, M. H. v. Jacobi, es zu achtbaren Leistungen in dieser Art von Technik gebracht hat. Der ältere Becquerel, Smee u. a. führten einzelne Verbesserungen ein, und R. Boettger (1806—1881) zeigte in den vierziger Jahren, daß und wie man Kupferstiche in dieser Weise beliebig vervielfältigen kann. Dadurch wurde die Galvanotypie vorbereitet, die Herstellung der Kupferclichés oder Galvanos, die von den nach der Vorlage gestochenen Originalholzstücken abgeformt sind, und für die jetzt allenthalben in der Buchdruckerkunst eingeführten Rotationspressen werden die Hochdruckplatten auf dem Wege der Galvanoglyphie gewonnen. Es giebt auch eine galvanische Ätzung, mit etwas uneigentlicher Bezeichnung — weil der Name auch einen medizinischen Sinn hat — Galvanokaustik genannt. Um 1842 erfand der Mineraloge W. F. X. v. Kobell (1803—1882) seine Galvanographie, darin bestehend, daß eine Platte mit erhabener, dick aufgetragener Farbe bemalt und dann galvanoplastisch kopiert wurde. Endlich ist noch der Galvanostegie zu erwähnen, eines von dem Fran-

zosen de Ruolz herrührenden Verfahrens, um, wie dies um 1840 A. de la Rive bereits in einem Einzelfalle geleistet hatte, Metalle mit einer dünnen Schicht eines anderen Metalles zu überziehen. Seit 1842 ist die bekannte Werkstätte von Christofle (Paris-Karlsruhe) beschäftigt, diese Kunst in großem Umfange auszuüben; neuerdings hat sich namentlich die Vernickelung einen großen Wirkungskreis erworben. Die Einzelheiten dieser Prozesse sind in verschiedenen Bänden des großen Sammelunternehmens, welches als „Elektrotechnische Bibliothek" bei Hartleben in Wien herauskommt, dargelegt worden.

Die Galvanoplastik verwertet, wie man weiß, elektrolytische Umsetzungen in dem Bade, in welchem man das Reproduktionsobjekt gebracht hat. Damit kommen wir ganz natürlich wieder zu einer Theorie, deren Anfänge unser elfter Abschnitt nach v. Grotthuß und Hittorf zu schildern hatte. Dieser letztgenannte Physiker hatte die Wanderung der Jonen als den springenden Punkt hingestellt, und in der That knüpfen daran auch alle späteren Arbeiten an, indem sie nur die Modalitäten dieses alternierenden Bewegungsvorganges schärfer zu bestimmen bestrebt sind. Neuerdings hat sich die als autonome Disziplin auftretende Elektrochemie, deren geschichtliche Entwicklung in Ostwalds 1896 erschienenem Werke einen Ehrenplatz einnimmt, des Gegenstandes bemächtigt. Hittorf hatte, wie wir uns entsinnen, auch auf die Verschiedenheit der Geschwindigkeiten, mit welchen sich die Jonen fortbewegen, aufmerksam gemacht; das Verhältnis der Geschwindigkeit eines Jons zur Summe der Geschwindigkeiten beider Jonen heißt bei ihm Überführungszahl, und diese erweist sich als zwar nicht von der Stromstärke, wohl aber von dem Konzentrationsgrade der Lösung abhängig. Indem die Jonen fortwandern, tragen sie ihre elektrische Ladung mit sich fort, so daß folglich eine der früher erörterten thermischen entsprechende elektrische Konvektion entsteht. Da nur ein kleiner Teil der überhaupt vorhandenen Teilchen eine Spaltung nach den entgegengesetzten Teilchen erlitten hat, so ist es erlaubt, den Dissoziationsgrad als das Verhältnis der gespaltenen zu den intakten Partikeln in quantitativer Beziehung der Untersuchung zu unterstellen;

O. J. Lodge (geb. 1851) hat diesen Terminus eingeführt, den bald nachher (1887) Svante Arrhenius als Aktivitätskoëffizienten charakterisierte. Das elektrolytische Äquivalent ist die Masse von Jonen, welche in der Zeiteinheit von der Stromeinheit abgesetzt wird; jede solche Zahl ist dadurch zu erhalten, daß man das chemische Äquivalent des betreffenden Stoffes mit einer Konstanten multipliziert. Um das zu erhalten, was in der hauptsächlich durch Arrhenius ausgebildeten Nomenklatur der Elektrolyse als absolute Beweglichkeit eines Jons figuriert, muß die Geschwindigkeit des letzteren noch durch das elektrochemische Äquivalent des Wasserstoffs dividiert werden. Dasjenige, was die Hittorfsche Theorie, so wie sie Arrhenius auffaßt, für den Anfang den Physikern wenig annehmbar machte, ist die Notwendigkeit, in den Elektrolyten den gelösten Stoff nach anderen atomistischen Verhältnissen angeordnet annehmen zu müssen, als dies sonst der Fall ist. Die Jonen müssen in den Elektrolyten frei beweglich sein, und da, solange der Prozeß der Dissoziation, wie ihn der finnländische Physiker im Jahre 1888 definierte, noch nicht im Gange ist, Neutralität herrscht, so müssen sich, ein wie kleines Raumstück man auch herausgreifen mag, in diesem gleich viele positive und negative Jonen befinden; das Eintauchen der Polplatten löst die beiden entgegengesetzt gerichteten Bewegungen aus. Das elektrolytische Aktionsgesetz von Faraday kann aus der Dissoziationslehre theoretisch hergeleitet werden; die durch den nämlichen elektrolytischen Akt ausgeschiedenen Gewichtmengen zweier Stoffe verhalten sich zu einander wie deren chemische Äquivalente. Es versteht sich, ohne daß es weiter ausgeführt würde, ganz von selbst, daß neue Anschauungen über das Wesen der galvanischen Polarisation die unmittelbare Konsequenz der Vorstellungen sind, welche man sich über die Migration der Jonen gebildet hat. Auch darf nicht eine Erwähnung der sogenannten Konzentrationsketten unterbleiben, die von W. Nernst (1888) und von M. Planck (1890) angegeben worden sind. Die Elemente bestehen aus gleichem Metalle, die aber in zwei chemisch übereinstimmende und dem Konzentrationsgrade nach verschiedene Salzlösungen eintauchen, während diese

beiden Flüssigkeiten durch einen Heber miteinander in Verbindung gesetzt sind.

Das beherrschende Fundamentalgesetz, welches G. S. Ohm für die galvanischen Ströme aufgestellt hat, ist uns von früher her geläufig; es verknüpft durch eine überaus einfache Gleichung die drei Größen der elektomotorischen Kraft, der Stromstärke und des Widerstandes. Die Intensität eines Stromes zu messen, dient das von Faraday konstruierte Voltameter, welches die Mengen mißt, die aus einem Elektrolyten in gegebener Zeit abgeschieden wurden. Über den Widerstand, den Ohms hydroelektrische Ketten nicht mit der nötigen Präzision zu messen gestatteten, wurden genaue Messungen zuerst 1853 von Franz und G. Wiedemann angestellt. Um im gegebenen Falle den Drahtwiderstand zu ermitteln, nimmt man einen Rheostaten zu Hilfe; einen solchen konstruierte Wheatstone in den ersten vierziger Jahren, aber nachher hat sich der Widerstandskasten oder Stöpselrheostat von Werner Siemens besonders Bahn gebrochen, den dieser 1866 erfand, als er der Lösung der Frage nach einer möglichst zweckmäßigen Widerstandseinheit näher getreten war. Unter Umständen ist es erwünscht, neue Widerstände einschalten zu können. Die große Anzahl von Untersuchungen über die metrische Bestätigung und Verwertung des Ohmschen Gesetzes, welche seit 1840 von Poggendorff angestellt wurden, hat diesen Zweck nicht bloß theoretisch erreicht, sondern als ein wertvolles Nebenprodukt derselben ist auch das Rheochord entstanden, das es ermöglicht, Widerstände von beliebiger Ausdehnung in den Stromkreis zu bringen und deren Werte numerisch zu bestimmen. Über die Wahl der Einheiten werden wir gegen den Schluß dieses Abschnittes die erforderlichen Mitteilungen zu machen haben.

Was die Theorie des Galvanismus betrifft, so kann das, was zunächst von ihren Geschicken zu berichten ist, nur einen ganz fragmentarischen Charakter an sich tragen; denn in das richtige Fahrwasser konnte jene erst dann gelangen, als zu ihr die ganze Fülle von neuen Errungenschaften hinzugetreten war, deren Keim in Oersteds Entdeckung lag. Gleichwohl hat man ein Recht, darnach zu fragen, wie man sich die Erscheinungen der strömenden

Elektrizität zurechtlegte, solange man wesentlich auf dem von Volta erreichten Standpunkte verblieb. Bis in die sechziger Jahre stehen sich gegenüber die chemische Theorie, welche im galvanischen Strome das Endergebnis molekularer Umsetzungen der Metalle erblickt, und die reine Kontakttheorie, erstere hauptsächlich durch französische und englische Physiker, unter denen Faraday besonders hervorragt, letztere durch deren deutsche Fachgenossen vertreten. Nach der 1844 von Schoenbein der gelehrten Welt vorgelegten Kompromißtheorie würde der Ort der Elektrizitätserregung da zu suchen sein, wo sich Metall und Flüssigkeit berühren. Auch damit ist kein abschließender Erfolg erzielt, denn ein wenn auch noch so geringes elektrisches Potential sehen wir auch auftreten, wenn je ein Stück Kupfer und Zink, ohne Zutritt einer Flüssigkeit, aneinander gebracht werden. Gerade der Voltasche Fundamentalversuch in seiner großen Einfachheit setzt mithin einer in diesem Sinne gehaltenen Erklärung die meisten Schwierigkeiten entgegen. Deshalb hat sodann im Jahre 1880 Fr. Exner eben dieses „Experimentum crucis“ einer erneuten Untersuchung unterzogen und sich zu Gunsten einer Influenzwirkung ausgesprochen, die in der positiv elektrischen Ladung des Oxydhäutchens ihren Grund habe, und in der That setzt sich die Spannung an der Kontaktstelle herab, je geringer die Oxydation ist. Die Frage, was eigentlich die Elektrizität sei, tritt ersichtlich bei diesen Bemühungen, den Thatbestand selbst zu verstehen, in den Hintergrund. Als Bestandteil einer umfassenderen Theorie der Ätherschwingungen suchte hingegen der Schwede E. Edlund (1819—1882) die Gesetze der statischen und dynamischen Elektrizität aufzufassen; seine Arbeiten über elektromotorische Kraft und thermische Aktion des Stromes beginnen schon in den sechziger Jahren, während die zusammenfassende Schrift („Théorie des phénomènes électriques“, Stockholm-Leipzig 1874) einer etwas späteren Zeit angehört. Die Elektrizität besteht nach seiner Ansicht in Ätherschwingungen, und zwar stoßen sich die Ätheratome nach dem Newtonschen Gesetze ab. Wenn in einem Körper diese Atome diejenigen ihrer Nachbarschaft beeinflussen und letztere gleichsinnig auf erstere wirken, so kann es geschehen, daß gar keine erkennbare

Wirkung die Folge ist; der Körper ist neutral, unelektrisch. Ist die durch seine Atome ausgeübte Kraft die überwiegende, so ist er positiv, im anderen Falle negativ elektrisch. Man kann also das positive Zeichen auf Ätherüberschuß, das negative auf Äthermangel deuten. Solange die Phänomene der statischen Elektrizität zur Diskussion stehen, läßt sich mittelst dieser Vorstellungen eine ganz gute Einsicht in die Verhältnisse erzielen, aber die Notwendigkeit, sich den unwägbaren Zwischenstoff nicht bloß schwingend, sondern auch fließend zu denken, wie es beim Übergange zum Galvanismus nicht umgangen werden kann, erregt mancherlei Bedenken. Allgemein gebilligt ist die Edlundsche Hypothese jedenfalls nicht worden.

Die Jugendgeschichte der Elektrodynamik brachte unser achter Abschnitt. Das Ohmsche Gesetz hatte allen Anzweiflungen gegenüber — und diese arteten mitunter zu Nörgeleien aus — seinen sieghaften Weg gemacht, und je tiefer man in das Wesen der Phänomene eindrang, welche sich beim Durchflusse der Elektrizität durch ein wie immer beschaffenes Drahtsystem einstellten, stets reichte der einfache Lehrsatz aus, die Thatsachen qualitativ und quantitativ einwurfsfrei darzustellen. Im Jahre 1847 bahnten G. R. Kirchhoffs auch methodisch hervorragende Arbeiten über Stromverzweigung eine neue Epoche an. Der Schließungsdraht ist hier nicht mehr eine einzige geschlossene Linie, sondern er wird an einzelnen Stellen durch mehrere Äste ersetzt, und da gilt dann die Regel: Die Stromstärken in den Zweigen verhalten sich zu einander umgekehrt wie deren Widerstände. Man sagt auf englisch, daß eine Abzweigung, welche von der kürzesten Verbindungslinie der Verzweigungspunkte ziemlich weit abweicht, ein „Shunt“ sei, wofür sich die deutsche Bezeichnung Nebenschluß empfiehlt; führt man in diesen den Meßapparat ein, so kann ein solcher, der zunächst nur für schwache Ströme berechnet war, auch weit stärkeren genügen. Hierauf beruht die Konstruktion der durch vielfach gewundene, dünne Drähte charakterisierten Spannungsmesser oder Voltmeter, welch letzteres Wort nicht mit dem auf ein ganz anderes Moment, nämlich die Stromstärke, abzielenden Voltameter verwechselt werden darf; ein eigentlicher Strommesser

oder Ampèremeter ist gegenteils mit einem kurzen und dicken Drahte versehen. Eine eigentümliche Art der Stromverteilung, als Wheatstonesche Brücke bekannt, hat dieser englische Physiker 1843 für die Messung der Widerstände in Leitern eingerichtet. Das Kirchhoffsche Theorem befähigt uns auch dazu, zu beurteilen, weshalb der sogenannte Kurzschluß, dieser gefürchtete Feind der elektrischen Beleuchtungsanlagen, eben diese Gefahren mit sich bringt; es entsteht eine starke Wärmeentwicklung, und benachbartes Holzwerk kann in Brand geraten, wenn man nicht die von dem unermüdlichen Edison ersonnene Blei- oder Silbersicherung prophylaktisch angewendet hat. Nachmals hat Kirchhoff auch körperliche Leiter in Betracht gezogen. Um die in solchen stattfindenden Strömungsverhältnisse dem Auge sichtbar zu machen, hat E. E. A. Guébhard (geb. 1849) ein sehr hübsches Veranschaulichungsmittel in Anregung gebracht, welches allerdings in den elektrochemischen Ringen L. Nobilis (Abschnitt VIII) schon einigermaßen einen Vorläufer hatte. Diese wurden 1826 zuerst beschrieben, jedoch nicht nach Gebühr beachtet. Als dann 1882 Guébhards Liniensysteme bekannt wurden, erregten sie ziemliches Aufsehen; C. Hildebrand (1882) und E. Lommel (1893), letzterer in erweiterter Fassung, haben sich damit befaßt. Läßt man die strömende Elektrizität in der Weise durch eine dünne Metallplatte strömen, daß die Drahtverbindung mehrere Punkte des Ein- und Austrittes mit der Platte gemein hat, so bilden sich zwei orthogonale Kurvensysteme, deren eines den Niveaulinien, deren anderes den Strömungslinien entspricht. Bei Verwendung von vier punktförmigen Elektroden kann man ganz die Nobilischen Ringe erzeugen. Verschiedene spezielle Resultate, welche früher Holzmüller, Auerbach und namentlich G. H. Quincke (geb. 1834) gefunden hatten, lassen sich aus der graphischen Darstellung, welche die Lehre von der stationären Elektrizitätsströmung in der Ebene gefunden hat, einfach abstrahieren, und Hildebrand weist insbesondere auch darauf hin, daß Toeplers 1876 gethaner kühner Ausspruch, man werde einst Probleme der winkeltreuen Abbildung mittelst eines empfindlichen Galvanometers zu lösen vermögen, schon teilweise seine Bewahrheitung gefunden hat.

Einen analytischen Ausdruck für die Kraft, mit welcher zwei von einem galvanischen Strome durchflossene Linienelemente auf einander wirken, hatte erwähntermaßen schon Ampère gegeben, allein es lag hier mehr die glückliche Eingebung eines genialen Geistes als das Endprodukt einer folgerichtig fortgesponnenen Gedankenreihe vor. Das Jahr 1846 brachte eine sehr erhebliche Bereicherung der bezüglichen Theorie, denn damals begann W. Weber, infolge des berüchtigten Staatsstreiches als einer der „Göttinger Sieben“ nach Leipzig übergesiedelt, seine in langer Reihe publizierten „Elektrodynamischen Maßbestimmungen“, die in der Geschichte dieses Teiles der Naturlehre Epoche machten, herauszugeben. An die Spitze stellte er eine Formel, die gleichmäßig für ruhende und für strömende Elektrizität gilt und als eine Erweiterung des altbekannten Ausdruckes für das Gravitationsgesetz gelten kann; W. Scheibner (geb. 1826), durch seine Arbeiten auf dem Gebiete der astronomischen Störungstheorie hervorragend, hat denn auch am Beispiele des Planeten Merkur Webers Ausdruck erprobt, aber gefunden, daß das Zusatzglied wenigstens für Bewegungen innerhalb unseres Sonnensystemes auf alle Fälle zu geringfügig ist, um in Betracht zu kommen. Desungeachtet war das Webersche Kraftgesetz eine Neuerung von höchster Bedeutung; denn es ward erstmalig der Möglichkeit gerecht, daß der Betrag der gegenseitigen Einwirkung nicht lediglich von Masse und Entfernung, sondern auch vom aktuellen Bewegungszustande der sich beeinflussenden Kraftquellen abhängen könnte. Kroenig, der sonst so vorurteilsfreie Atomistiker, vermochte sich nicht mit dem Gedanken auszusöhnen, daß eine Kraft durch eine Geschwindigkeit bedingt wäre. Jedenfalls lag aber ein Keim für Bedenken darin, daß man mit Stromelementen operieren mußte, während in der Wirklichkeit doch nur geschlossene Ströme, deren Wirkung erst durch einen Integrationsprozeß zu erhalten ist, ins Bereich der Beobachtung fallen. So erschienen also auch bald anderweite Formulierungen für das elektrodynamische Grundgesetz; 1845 gab Graßmann eine solche, den wir oben (Abschnitt III) kennen lernten, und 1847 folgte ihm Franz Neumann, dessen Sohn K. Neumann (Abschnitt XV) den gleichen Gegenstand in

umfänglicher, den Vorarbeiten ausgiebig Rechnung tragender Schrift („Die elektrischen Kräfte", Leipzig 1877) abgehandelt hat. In Webers zweiter Abhandlung aus dem Jahre 1856, welche sich natürlich auch mit den bis dahin hervorgetretenen Konkurrenztheorien auseinandersetzt, wird insonderheit auch mit Folgerichtigkeit das absolute Maßsystem, das wir als eine Gaußsche Schöpfung beim Erdmagnetismus wirksam werden sahen, zur Durchführung gebracht. Wir werden seine Natur weiter unten kennen lernen. Als Meßinstrument brachte Weber die Tangentenboussole zu Ehren. Der Ausschlag einer Nadel, welche von einem Stromkreise umflossen wird, erwies sich überhaupt als das zuverlässigste Kriterium einer jeden den Namen Galvanometer beanspruchenden, Meßzwecken dienenden Vorrichtung. Man hat es in der Kunst, überaus empfindliche Instrumente dieser Art auszuführen, zu einem sehr hohen Grade der Vollendung gebracht, und es ist darin vor allem das physikalische Institut von M. Th. Edelmann (geb. 1845) zu verdientem Rufe gelangt. Die physikalischen Hörsäle beziehen aus diesem Werke ein Spiegelgalvanometer, welches auch den entfernt Sitzenden die schwächsten Ausschläge der Nadel, wie sie etwa von thermoelektrischen Strömen hervorgerufen werden, objektiv erkennbar macht; an der von allen Seiten sichtbaren Wand entsteht ein Lichtfleck, der die Schwingungen der Nadel stark vergrößert mitmacht und mit großer Raschheit hin und her wandert. Auch das Atelier von Hartmann und Braun in Frankfurt a. M. hat sich neuerdings durch seine Leistungen auf dem Gebiete der praktischen Galvanometrie hervorgethan. Für genauere Messungen wird das uns bekannte Prinzip der Poggendorffschen Spiegelablesung zu Hilfe genommen. Auch hat G. Wiedemann dadurch die Schärfe der Ablesung beträchtlich erhöht, daß er die Multiplikatorrollen, durch welche man den Strom gehen läßt, um ihn zu verstärken, verschiebbar machte und andererseits, um das allzu lebhafte Pulsieren der Nadel hintanzuhalten, eine Kupferdämpfung anbrachte. Der letzterwähnte Zweck wird dann am vollkommensten erreicht, wenn man dem Magneten eine geeignete Form giebt, und so sind die sehr praktischen Galvanometer entstanden, deren Magnet Glockenform hat, und zu denen 1868

Werner Siemens den Anstoß gab. Zwei astatische Nadeln, die so eingerichtet sind, daß je der Nordpol der einen den Südpol der anderen neutralisiert, schließen das Eingreifen des Erdmagnetismus so gut wie gänzlich aus, und darum hat W. Thomson schon vor fast fünfzig Jahren solche Nadelpaare als besonders geeignet für den hier in Rede stehenden Zweck bezeichnet. O. Schloemilch (Abschnitt III) entwickelte analytisch die Bedingungen für die Bewegung astatischer Systeme, und eine Fülle von Instrumenten, unter denen sich zur Zeit dasjenige von H. Rubens und H. Dubois großer Beliebtheit erfreut, ist für solche Nadelverbindungen eingerichtet worden. Die Empfindlichkeit ist dadurch ungemein erhöht, andererseits aber auch die genaue Ablesung erschwert worden, weil sich der auf die von außen kommenden Einwirkungen sofort reagierende Indikator kaum zur Ruhe bringen läßt. Angesichts der Thatsache, daß jeder irgendwo aufgestellte Apparat sich immer in verschiedenen Feldern zu gleicher Zeit befindet, wie denn zumal die elektrischen Trambahnen unaufhörlich solche Felder erzeugen, ist also das astatische Galvanometer sehr gefährdet; glücklicherweise hilft hier das 1881 von M. Deprez (geb. 1843) erfundene und von Edelmann weiter vervollkommnete aperiodische Galvanometer ab, welches den Magneten fest, den Strom dagegen beweglich macht. Bei denjenigen Deprez-Instrumenten, welche die berühmte Firma Siemens & Halske in den Handel bringt, ist die Herstellung eines gewünschten Grades von Empfindlichkeit durch einen magnetischen Nebenschluß ermöglicht worden. Wir benützen die sich hier bietende Gelegenheit, um über die genannte Fabrik, die in der neueren angewandten Physik so oft mit Ehren angeführt werden muß, einige Worte einzufügen. Am 1. Oktober 1847 verband sich der damalige Leutnant Werner Siemens mit dem Mechaniker J. G. Halske (1814—1890) zur Begründung einer Werkstätte, die zunächst dem Telegraphenbau gewidmet werden sollte, und obwohl letzterer für seine Person sich 1867 vom Geschäfte zurückzog, so hat sich dieses doch glänzend entfaltet und nach und nach die gesamte Elektrotechnik in seinen Wirkungskreis hereingezogen. Im Jahre 1855 mußte eine Zweiganstalt in St. Petersburg ins Leben gerufen werden, und das Jahr 1858

brachte die Filialen in London, Paris und Wien. Welche Bedeutung die Weltfirma bei Beginn des neuen Jahrhunderts besitzt, ist einem jeden bekannt, der nur irgend einmal mit der Beschaffung elektrischer Apparate zu thun hatte.

Nachdem das Instrumentarium, welches zu der Zeit, als W. Weber an den Ausbau der theoretischen Elektrodynamik herantrat, noch ein recht bescheidenes genannt werden durfte, so großartiger Ausgestaltungen teilhaftig geworden war, konnte natürlich auch die Prüfung der durch Denkarbeit und Rechnung gewonnenen Erkenntnisse mit viel mehr Aussicht auf Erfolg ins Werk gesetzt werden. Im Jahre 1870 nahm Helmholtz eine Revision der Weberschen Sätze in Angriff, weil er sich überzeugt zu haben glaubte, daß diese unzureichend seien, um für ruhende, nicht strömende Elektrizität das alsdann eingetretene Gleichgewicht stabil erscheinen zu lassen. Er gab einen neuen, verallgemeinerten Ausdruck für das wechselseitige Potential zweier Stromelemente, welches nicht nur die von Weber, sondern auch die von F. Neumann und Maxwell aufgestellten Formeln als Unterfälle in sich begreift, indem nämlich eine gewisse, unbestimmt gelassene Konstante, je nachdem sie —1, +1 oder 0 wird, den allgemeinen Ausdruck in denjenigen überführt, der von je einem der drei genannten Forscher entwickelt worden war. Eine Entscheidung war damals weder auf analytischem noch auf experimentellem Wege herbeizuführen, obwohl Helmholtz eine solche Möglichkeit andeutete. Ebenso wie die früher berührte, kann es nämlich auch eine elektrische Konvektion, unabhängig von der eigentlichen Strömung, geben; die von A. H. Rowland (Abschnitt XIV) im Helmholtzschen Laboratorium ausgeführten und 1876 bekannt gewordenen Versuche lassen darüber keinen Zweifel: Die bloße Fortbewegung elektrisch geladener Körper vermag elektromagnetische Wirkungen auszuüben. Dem Weberschen Gesetze stellte Clausius („Die mechanische Behandlung der Elektrizität", Braunschweig 1879) ein neues gegenüber, welches statt der relativen die absoluten Geschwindigkeiten der bewegten Teilchen einführte, und gerade diese Notwendigkeit vertrat er eifrig gegen Weber selbst und gegen den die Schwierigkeit der neuen Hypothese er-

örternden H. Lorberg (geb. 1831). Nach einer ganz anderen Seite hin suchten den Ausgleich die nahe gleichzeitig (1867 und 1868; erstere posthum) erschienenen Abhandlungen der beiden ausgezeichneten Mathematiker B. Riemann — vgl. den zweiten Abschnitt — und K. Neumann; ersterer sprach sich sehr bezeichnend, wie folgt aus: „Ich habe gefunden, daß die elektrodynamischen Wirkungen galvanischer Ströme sich erklären lassen, wenn man annimmt, daß die Wirkung einer elektrischen Masse auf die übrigen Massen nicht momentan geschieht, sondern sich mit einer konstanten, der Lichtgeschwindigkeit innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler gleichen Geschwindigkeit zu ihnen fortpflanzt.“ Damit ist offenbar jenen neuen, gewichtigen Arbeiten vorgegriffen, durch welche, wie sich zeigen wird, die Identität der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten von Licht und Elektrizität nachgewiesen ward. Daß auch Edlund die Kraft seiner vorerwähnten Äthertheorie an diesem Probleme erprobte, versteht sich von selber, und ein Gleiches that auch Hankel, der die elektrischen Erscheinungen durch rotatorische Bewegungen sowohl der Äther- als auch der Körpermoleküle zu erklären suchte, indem er den Drehsinn als für das Vorzeichen der elektrischen Ladung bestimmend betrachtete. Die neuere und neueste Entwicklung der elektrodynamischen Theorien kann man am besten aus den 1879 und 1900 an die Öffentlichkeit getretenen Schriften der beiden Göttinger Physiker K. V. E. Riecke (geb. 1845) und E. Wiechert kennen lernen. Von ausländischer Litteratur seien die fundamentalen Werke von H. C. Fleeming Jenkin (1833—1885) und Ph. Silvanus Thompson (geb. 1851) hervorgehoben, welche bezüglich 1878 und 1881 erschienen; von ersterem liegt Fr. Exners verdienstliche deutsche Bearbeitung („Elektrizität und Magnetismus“, Braunschweig 1880) vor. Durch Jenkin sind insbesondere auch gewisse Vereinfachungen für die Bestimmung der Richtungen, in welchen gewisse Ströme fließen und gewisse Kräfte wirken, eingeführt worden, auf deren hohe Nutzbarkeit und Übersichtlichkeit, namentlich auch für die elektrotechnische Praxis, unter den deutschen Physikern zuerst H. Ebert den richtigen Nachdruck gelegt haben dürfte. Das große, aus dem Anschauungskreise von Faraday-Maxwell hervorgegangene Werk

Eberts („Magnetische Kraftfelder", Leipzig 1897) giebt erstmalig in Deutschland einen vollständigen Überblick über die in England schon früher heimisch gewordene Deutung des Wechselverhältnisses aller einschlägiger Kraftäußerungen, verbunden mit vielfach neuartiger experimenteller und mathematischer Durcharbeitung der zahllosen Einzelgesetze. Ein großes Verdienst erwarb sich das Ebertsche Buch auch durch die eingehende Beschreibung solcher Versuche, mittelst deren man einem großen Publikum, lediglich durch Bestreuung der verschiedenartig erzeugten Kraftfelder mit der sich längs der Kraftlinien ansammelnden Eisenfeile, die verwickeltsten Beziehungen objektiv am Projektionsapparate (Skioptikon) klar machen und sinnenfällig demonstrieren kann. Die Elektrodynamik hat uns, schon mit Rücksicht auf die galvanometrischen Hilfsmittel, ganz von selbst zum Elektromagnetismus hinübergeleitet. Wir erfuhren, daß Ampère die Richtung, nach welcher die im Stromkreise befindliche Magnetnadel ausschlägt, durch seine ziemlich komplizierte Schwimmregel zu bestimmen lehrte; nach Jenkin-Ebert sagt man ganz unverhältnismäßig einfacher: Legt man die rechte Hand so an den Stromträger, daß der Strom durch die Hand gegen den Mittelfinger zu seinen Weg nimmt, so wird der Nordpol der Nadel gegen den Daumen hin abgelenkt. Einen noch auffälligeren Triumph feiert das hiermit signalisierte Anschaulichkeitsprinzip im weiteren Fortgange der Wissenschaft, wenn es sich um die Beeinflussung von Stromträgern durch Magnetfelder einerseits, um die Induktion andererseits handelt. Jenkin hat für den ersteren Fall die Regel der linken Hand, für den anderen die Regel der rechten Hand als normativ nachgewiesen. Man streckt beide Male die drei ersten Finger der betreffenden Hand, vom Daumen an gerechnet, so aus, daß sie den Achsen eines rechtwinkligen Raumkoordinatensystemes entsprechen. Stellt dann fürs erste der Mittelfinger die Stromrichtung vor, während der Zeigefinger der Richtung der Kraftlinien von der Quell- zur Sinkstelle sich anpaßt, so wird die Strombewegung quer zu den Magnetkraftlinien durch die Daumenrichtung angegeben. Wird andererseits die Richtung der Kraftlinien eines festen Magnetfeldes durch den Zeigefinger

der rechten Hand, die Bewegungsrichtung des induzierenden Leiters durch den Daumen charakterisiert, so folgt der durch Induktion erzeugte Strom der Achse des Mittelfingers. Ebert hat dadurch, daß er jeden der drei in Betracht kommenden Finger mit einem Hütchen von besonderer Farbe armiert, die Anwendung dieser Handregeln so sehr vereinfacht, daß darüber wohl nicht mehr hinausgegangen werden kann. Beide Regeln finden sich zusammen in dem an sich schon älteren, von H. E. Lenz (Abschnitt VIII) bewiesenen Satze: Durch die Bewegung eines Leiters im magnetischen Kraftfelde wird ein Strom von solcher Richtung induziert, daß er, elektromagnetisch auf das Feld zurückwirkend, einen entgegengesetzt gerichteten Strom auslösen würde. Auch der Nichtfachmann stellt sich leicht vor, wie ungemein handlich solche niemals versagende Vorschriften dem mitten in der maschinellen Praxis stehenden Techniker erscheinen müssen, der so von vornherein weiß, in welcher Richtung er den Strom zu erwarten hat.

Von den unzählig vielen neueren Entdeckungen im Bereiche der Elektrodynamik, des Elektromagnetismus, der von diesem nur durch Wechsel von Ursache und Wirkung verschiedenen Magnetelektrizität und der Induktion kann hier natürlich nur in Form einer gedrängten Auslese die Rede sein. In neuerer Zeit ist vielfach das Hallsche Phänomen besprochen worden; der Amerikaner E. H. Hall (geb. 1855) bemerkte 1880, daß jene Liniensysteme, deren Deutung als Niveau- und Kraftlinien auf durchströmten Platten uns weiter oben entgegengetreten ist, eine Drehung erfahren, wenn sie in ein hinlänglich kräftiges Magnetfeld gebracht werden. Eine endgiltige Erklärung dieser Ablenkungserscheinung wird wohl auf dem durch E. Lommel (1896) angedeuteten Wege zu erbringen sein. Die neu entdeckte Induktion, deren Anfangsstadien unser achter Abschnitt vorzuführen hatte, führte rasch zu einer Menge neuer Erkenntnisse. Schon 1832 fand Faraday, daß auch der Erdmagnetismus induzierend wirken könne, und damit war der Anstoß zur Konstruktion der Erdinduktoren gegeben, wie solche von W. Weber und in neuerer Zeit, nämlich 1882, von H. Weber (geb. 1839) konstruiert und in die geomagne-

tische Messungstechnik eingeführt worden sind. Den durch gegenseitige Einwirkung der Windungen ein und derselben Spule hervorgebrachten, störenden Extrastrom („Extracurrent“) haben Faraday und Dove näher untersucht, und ersterer gab nunmehr eine befriedigende Deutung der als mysteriös betrachteten Thatsachen des Aragoschen Rotationsmagnetismus, der eben auch auf Induktion beruht. Den älteren Induktionsmaschinen, deren Inaugurierung durch Neeff uns von früher her erinnerlich ist, folgten in Bälde verbesserte Mechanismen dieser Art.

Im Jahre 1842 brachten Bréguet und A. Ph. Masson (1806—1860) einen Apparat zustande, der die im luftverdünnten Raume, dem sogenannten elektrischen Ei, zwischen den Polen ausgespannten Platindrähte zum Glühen brachte; hierauf ist in der chronologischen Reihenfolge E. du Bois-Reymonds für elektrotherapeutische Zwecke bestimmter Schlittenapparat zu nennen, und seit 1851 vollzog sich eine großartige Umwälzung auf diesem Gebiete, die durch die Namen H. D. Rühmkorff (so, und nicht, wie man fast immer liest, Ruhmkorff [1803—1871]) und E. Stoehrer (Abschnitt VIII) dauernd gekennzeichnet ist; auch des letzteren Sohn F. E. Stoehrer (1840—1882) hat sich als Leiter der seinem Vater entstammenden Werkstätte hervorgethan, wie auch die bequeme Einrichtung des vorhin erwähnten Lichtbilderapparates wesentlich sein Werk ist. Rühmkorff überzeugte sich, daß magnetelektrische Ströme das kräftigst wirkende Mittel seien, um energische Induktionsbethätigungen zuwege zu bringen, und indem er noch den der Idee nach von Foucault herrührenden Unterbrecher anwandte, gelangte er nicht nur zu den machtvollsten Funkenwirkungen, sondern auch zu so bedeutenden Wirkungen auf den menschlichen Körper, daß der mit ihm gemeinsam experimentierende französische Physiker J. A. Quet (1810—1884) durch einen Schlag beinahe sein Leben verloren hätte. Die Stoehrersche Kombination beruhte auf dem von Pixii (1832) in Vorschlag gebrachten Verfahren, den Magneten um das von Induktionsspiralen umschlossene Stück weichen Eisens rotieren zu lassen; auch F. A. Petřina (1799—1855) und K. A. v. Ettingshausen (1796—1878) hatten schon Mechanismen dieser Art her-

gestellt, aber gegen Stoehrers Maschine von 1848, die dann bald noch erheblich verbessert ward, konnten jene nicht aufkommen. Allein alle Vorrichtungen litten noch unter dem Übelstande, daß Stromumkehrer, Kommutatoren, notwendig waren, intermediäre Apparate, die z. B. von Pohl (1828) und von Rühmkorff (1846) angegeben wurden; dadurch wurde stets ein Funke gebildet, und die direkte Folge eines solchen muß eine auf Energieumsetzung zurückzuführende Stromschwächung sein, und auch noch andere Nachteile traten bei vielfältigem Gebrauche in die Erscheinung. Die von Siemens, Wilde, Wheatstone zwischen 1857 und 1867 angebrachten Modifikationen halfen diesen Mängeln nicht endgiltig ab, und erst seit dreißig Jahren kennt man das Geheimnis, welches die Erreichung des Zweckes einstweilen verhinderte. Die Elektrotechnik wird uns gleich nachher des Rätsels Lösung vor Augen führen.

Von allen Faradayschen Entdeckungen ist in theoretischer Hinsicht vielleicht die wichtigste diejenige der unipolaren Induktion (1832) geworden. Wir wissen, daß, wie dies die Bestreuung mit Eisenfeilspänen so schön erläutert, die Mitte eines magnetisierten Stabes durch eine Indifferenzzone eingenommen wird; als mithin Faraday in seinem steten Streben, neue Erfahrungen zu machen, das eine Ende eines Leitungsdrahtes an den einen Pol, das andere aber in die Mittelregion eines Magneten brachte, mußte er eigentlich ein vollständig negatives Resultat erwarten. Es kam indessen anders; so lange der Magnetstab ruhig blieb, zeigte sich freilich nichts besonderes, aber den in Rotation versetzten Magneten durchfloß sofort ein Induktionsstrom. Die hierbei auftretenden Gesetzmäßigkeiten wurden von W. Weber (1839 und 1876), Plücker (1862) und K. Neumann (1876) im einzelnen erforscht, aber weder die unitarische noch die dualistische Hypothese erwies sich als zureichend, und mehr und mehr kommt man unter dem Einflusse der Maxwellschen Wirbeltheorie zu Faradays alter, fast instinktiv gefaßter Meinung zurück, die Kraftlinien möchten eine räumlich objektive Existenz besitzen. Daß jedenfalls die Rotation des Feldes unabhängig von der Eigenrotation des Magneten vor sich geht, ist aus den Ver-

suchen von E. Lecher (geb. 1856) zu folgern. Nach Ebert würde es korrekter sein, achsiale oder rotatorische Induktion zu sagen.

Wir haben die Lehre von den Kraftlinien und Wirbelatomen in unserem elften Abschnitte soweit erörtert, als es mit unserem damaligen Endziele, die grundstürzende Umgestaltung des naturwissenschaftlichen Fühlens und Denkens um die Zeit der Jahrhundertmitte in ihrem Wesen bloßzulegen, verträglich schien. Nunmehr ist es an der Zeit, die Maxwellsche Theorie, welche durch Boltzmann, Ebert, Foeppl („Geometrie der Wirbelfelder", Leipzig 1897) u. a. auch in Deutschland eine führende Stellung, wie schon lange zuvor in ihrem Vaterlande, erlangt hat, noch etwas mehr im Zusammenhange kennen zu lernen. Die Gesamtanschauung Maxwells bringen am besten zur Geltung die beiden Hauptwerke „Matter and Motion" (London 1876; deutsch, Braunschweig 1881) und „A Treatise on Electricity and Magnetism", London 1881; deutsch, Berlin 1883); nächstdem auch die von W. D. Niven (geb. 1842) herausgegebenen „Scientific Papers" (Cambridge 1890). Ausgehend von Faradays Definition des elektrotonischen Zustandes, stellt Maxwell zunächst fest, daß jeder elektrisch gewordene Körper das umgebende Raummittel in eine gewisse Spannung versetze, die in dem Verlaufe der Kraftlinien ihren Ausdruck findet, und zwar in der Weise, daß in der Tangente dieser Kurven ein Zug, in ihrer Normale aber ein Druck ausgeübt werde. Diese Spannung ist meßbar und mathematisch ausdrückbar, wenn man die Formeln der Potentialtheorie zur Anwendung bringt. Wie elektromotorische und mechanische Kraft in Wechselwirkung stehen, ist Gegenstand der Hypothese. Um einen geradlinig verlaufenden Strom herum sind die magnetischen Kraftlinien als konzentrische Kreiswirbel angeordnet, während bei einem Kreisstrome die Verteilung durch die folgende Beschreibung verständlich gemacht wird. Man bringe den Kreis mit einer zu ihm senkrecht stehenden Ebene zum Durchschnitte; um die beiden Schnittpunkte lagern sich die Kraftlinien in zwei Paaren symmetrischer Zykeln, so daß nur die durch den Kreismittelpunkt gehende Kraftlinie geradlinig wird. So kann man auch die geschlängelten Kraftlinien eines Solenoides zur Dar-

stellung bringen und ein Bild von der Umdrehung eines Magneten um den Strom oder eines Stromträgers um den Magneten gewinnen. Der elegante Helmholtzsche Versuch, ein von einem vertikalen Magnetstabe schlaff herabhängendes Metallband durch Einleitung eines Stromes derart zu beeinflussen, daß es sich, je nach der Stromrichtung, links oder rechts um den Stab herumwickelt, ist ein überaus instruktiver. Sehr einfach konnte Maxwell den schon 1820 von Biot und Savart gefundenen Lehrsatz beweisen, daß sich die Kraft, womit ein unbegrenzt geradliniger Strom auf einen Magnetpol wirkt, umgekehrt wie die Entfernung beider verändert. Während bislang die Kraftlinien nur für sich allein betrachtet wurden, zwingen die Induktionserscheinungen dazu, die gegenseitige Durchdringung jener Liniensysteme ins Auge zu fassen. Je nachdem eine größere oder geringere Anzahl von Linien durch eine Schleife umschlossen wird, entsteht durch Induktion ein inverser oder direkter Strom; diese Regel wurde von Maxwell aufgefunden. Man kann, indem man die Anzahl der durch die Einheitsfläche hindurchgehenden Kraftlinien bestimmt, alle Geschehnisse, die sich bei der Elektro- und Magnetoinduktion bemerklich machen, anschaulich erklären, und eben in dieser Anschaulichkeit liegt der hohe Wert dieser zunächst fremdartig anmutenden Betrachtungsweise. Auch hat man infolgedessen von Maxwell selbst und von Boltzmann gyroskopische Demonstrationsapparate, die uns die Möglichkeit einer klaren Vorstellung von jenen zyklischen Wirbeln gewähren, welche längs der Kraftlinien den Raum erfüllen und in ihrer Gesamtheit das bestimmen, was man den Energieinhalt des Feldes — oder auch gegebenenfalls der miteinander in Wechselwirkung tretenden Felder — nennen kann.

Ungemein gefördert wurde die neue Lehre durch die zielbewußten Arbeiten des leider so früh der Wissenschaft entrissenen Heinrich Hertz. Als im Jahre 1879 die Berliner Akademie der Wissenschaften die Preisaufgabe stellte, zwischen den aus der Elektrodynamik bekannten Aktionen und der dielektrischen Polarisation der Isolatoren eine Beziehung auszumitteln, wies Helmholtz seinen Schüler, dessen Eigenschaften er gründlich

erkannt hatte, auf jenes Problem hin, und bei den dazu angestellten Vorversuchen verfiel dieser darauf, jene elektrischen Wellen, die nach der Maxwellschen Theorie den Raum erfüllen müssen, wirklich zu objektivieren, ihr Dasein dem Auge oder Ohre zugänglich zu machen. Ältere Versuche v. Bezolds (1870), sowie O. J. Lodges (geb. 1851) aus dem Jahre 1879 und G. F. Fitzgeralds (geb. 1851) aus annähernd gleicher Zeit erkennt Hertz („Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft“, Leipzig 1892) als mit seinen eigenen nahe verwandt und vom gleichen Geiste erfüllt an, aber erstens war durch sie doch nicht ganz das gleiche Ziel erreicht worden, und zweitens hatte der Karlsruher Physiker — er ist später nach Bonn übergesiedelt, wo ihm freilich nicht mehr lange zu wirken vergönnt war — von jenen früheren und gleichzeitigen Bestrebungen keinerlei Kenntnis. Auch Feddersens Experimente über den oszillatorischen Charakter der Funkenentladung gehören der Vorgeschichte der großen Hertzschen Entdeckung an, aber während dort in der Sekunde nur einige 100000 Schwingungen ausgeführt wurden, handelte es sich jetzt um Oszillationen, von denen 30 bis 450 Millionen auf die Sekunde entfallen. Das neue Moment der elektrischen Resonanz, die in ihrer Art ganz dem bekannten akustischen Phänomene zu vergleichen ist, gewährte ein Hilfsmittel, die minimalen Fünkchen an den Unterbrechungsstellen der Leitung so zu verstärken, daß sie deutlich sichtbar und zur Bestimmung der Länge der elektrischen Wellen brauchbar wurden. Bringt man nämlich den sekundären Leiter dem primären nahe, so gerät sozusagen auch in ersterem die Elektrizität in Bewegung, und nun giebt es eine empirisch aufzufindende günstigste Größe des sekundären Drahtkreises, welche die Fünkchen besonders kräftig macht. So ist also, um in der musikalischen Analogiesprache fortzufahren, ein Leiter geradezu auf den anderen abgestimmt, was nicht geschehen könnte, wenn nicht das, was uns als Elektrizität geläufig ist, in Wirklichkeit ein Vibrationsprozeß wäre. In Konsequenz dieser jetzt feststehenden Thatsache ersetzte Hertz den zuerst angewandten längeren Draht durch einen kürzeren, frei in der Luft endigenden. Wenn nunmehr wieder der sekundäre Leiter heran=

gebracht ward, erschienen an den Punkten A, B, C, D u. s. w. wiederum die stärkeren Funken, gar keine dagegen an jenen Punkten M, N, P u. s. w., welche so lagen, daß AM = MB, BN = NC, CP = PD u. s. w. war. Es war somit durch Reflexion eine stehende Schwingung ganz von der Art entstanden, wie wir sie als Seiche der geschlossenen Wasserbehälter im sechsten Abschnitte zu besprechen hatten; die direkte und zurückgeworfene elektrische Welle waren zur Interferenz gekommen, und Knoten wie Bäuche traten hervor. Zwischen der jetzt meßbaren Wellenlänge und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit besteht aber eine einfache Zahlenbeziehung, und diese anwendend, fand Hertz als Endresultat: Die elektrische Welle legt in einer Sekunde einen Weg von 300000 km zurück, und dies ist genau der auch von der Lichtwelle in der Zeiteinheit durchmessene Weg. Eine den Augenschein befriedigende Objektivierung der Hertzschen Strahlen hat 1892 L. Zehnder ermöglicht, der auch die Funken der von Hertz entdeckten Wellen in eigentümlicher Weise die Entladung eines Akkumulators von hoher Spannung besorgen ließ. Die Fortpflanzung der elektrischen Wellen in Flüssigkeiten studierten 1891 H. Rubens und L. Arons, und ihnen gelang es auch, den Brechungsexponenten für Öl und Petroleum zu ermitteln. Neben den nunmehr ausreichend erörterten Wellen, die uns der Bonner Physiker kennen lehrte, dürfen aber die von dem Kroaten Tesla (geb. 1856) entdeckten und großartig ausgebeuteten Wellenphänomene nicht vergessen werden. Der Tesla-Transformator gestattet die Erzeugung von Wechselströmen von abnorm hoher Spannung, die selbst in abgeschlossenen Geißlerschen Röhren die verdünnten Gase zum Aufleuchten bringen und gewiß noch eine bedeutende Zukunft haben, mag auch ihr Urheber allzu optimistische Vorstellungen hierüber hegen. Nach Fr. Himstedt (geb. 1852) ist die Steigerung des Potentiales der hohen Wechselzahl der Wechselströme zuzuschreiben.

Wir gedachten in der Geschichte der Astronomie der Bemühungen, welche zur genauen Ermittlung der Geschwindigkeit des Lichtes aufgewendet worden sind. Im Jahre 1850 hatte Foucault

an der Hand seines genialen Spiegelversuches dargethan, daß dies auch, ohne sich in den Himmelsraum zu versenken, auf terrestrischem Wege erfolgen könne, und auch von A. H. L. Fizeau (Abschnitt VIII) wurde ziemlich gleichzeitig gezeigt, daß ein von einem fernen Spiegel reflektierter Lichtstrahl von einem mit großer Geschwindigkeit rotierenden Zahnrade bald aufgehalten, bald durchgelassen wird, so daß also aus jener Distanz, aus der Anzahl der Zähne und aus der Tourenzahl die betreffende Größe berechnet werden kann. Andere Bestimmungen führten durch: 1873 A. Cornu, dann 1879 A. A. Michelson (geb. 1852) und 1881 J. Young (1811—1883). Alle die so erhaltenen Zahlen weichen untereinander nur um Beträge ab, die man recht gut durch die bei so überaus feinen und schwierigen Beobachtungen unvermeidlichen Beobachtungsfehler erklären kann, und es ist mithin nach dieser Seite hin die Identität von Licht- und elektrischen Wellen wohl als gesichert anzunehmen.

Es mangelt jedoch auch an anderweiten Belegen nicht. Im Jahre 1888 ging Hertz daran, die Strahlen elektrischer Kraft als von den Lichtstrahlen nicht verschieden nachzuweisen und insbesondere klarzustellen, daß von Spiegelung und Brechung auch hier ganz in der sonst bekannten Art und Weise geredet werden dürfe. Zumal das Experiment, welches für die Brechung typisch ist, hat sich rasch die Aufnahme in den Schatz fundamentaler Versuche erobert. Hertz bediente sich eines Pechprismas, dessen brechender Winkel 30°, dessen Minimalablenkung 22° betrug, während der optische Brechungsindex gleich 1,60 zu setzen war. Durch Probieren fand er heraus, innerhalb welches Umkreises dieses Prisma einen elektrischen Schatten warf, und daß, wenn die Winkelverschiebung zwischen Spiegel und Hinterfläche des Prismas etwa 11° betrug, die ersten Funken bemerkbar zu werden begannen. Bei einer Ablenkung von gegen 34° hörten dieselben allmählich auf. So berechnete sich ein elektrischer Brechungskoëffizient von 1,69, der, wie ersichtlich, mit dem optischen auch nahe zusammenfällt. Die Beweiskette, deren wir gedachten, war also mit einem neuen und besonders wichtigen Gliede versehen worden.

Daß auf die Polarisationsebene des Lichtes der Elektromagnetismus eine Wirkung ausübt, welche deren Drehung bewirkt, ist eine der unzählig vielen Entdeckungen Faradays. C. Neumanns Habilitationsschrift (Halle a. S. 1858) lieferte den ersten Erklärungsversuch und eröffnete zugleich die Reihe der Arbeiten, welche es sich als Ziel vorgesetzt haben, eine elektromagnetische Theorie des Lichtes aufzustellen. Die Motive hierzu vermehrten sich nachgerade überraschend; wir wollen hier nur auf das Kerrsche Phänomen aufmerksam machen, welches seit 1883 den Physikern viel zu denken gab. In einer Anzahl von Aufsätzen, welche seit 1875 erschienen, beschäftigte sich der Schotte J. Kerr (geb. 1824) mit den Lageveränderungen, welche die erwähnte Ebene unter der Einwirkung magnetischer und elektrischer Aktion erfährt, und verdichtete seine Wahrnehmungen in folgender Behauptung: Wenn Licht, das parallel oder senkrecht zur Einfallsebene polarisiert ist, von einem magnetisierten Eisen- oder Nickelspiegel reflektiert wird, so zerlegt sich der zurückgeworfene Strahl in zwei zu einander senkrecht stehende Komponenten. Diese Erscheinungen wären der älteren Vibrationstheorie von Young und Fresnel unzugänglich gewesen, aber eben deswegen mußte die Ausbildung einer neuen Vorstellung vom Wesen des Lichtes als eine Notwendigkeit anerkannt werden. Unter den ersten, welche in diesem Sinne thätig waren, begegnen uns der Däne L. V. Lorenz (1829—1891), der 1867 mit aller Bestimmtheit die Identität von Licht- und elektrischen Schwingungen befürwortete, und der Holländer H. A. Lorentz (geb. 1853), der 1877 an die von Maxwell und Helmholtz aufgestellten Thesen anknüpfte. Der letztgenannte hatte gefunden, daß unter gewissen Voraussetzungen über die magnetische oder dielektrische Polarisationsfähigkeit der in Betracht kommenden Medien die Gesetze der Reflexion und Refraktion in der Optik und Elektrizitätslehre die gleichen sind, und ebenso wies er unter Aufbietung eines stattlichen mathematischen Apparates nach, daß auch für krystallinische Körper die bekannten Gesetze unter Zugrundelegung der Maxwellschen Lichttheorie abgeleitet werden können. Es können sich also z. B. in einem nicht isotropen Medium auch stets in einer gewissen Richtung nur zwei Wellensysteme mit trans-

versalen elektrischen Schwingungen fortpflanzen, gerade so wie wir dies vom Lichte wissen. Die neueste systematische Darstellung der Elektrooptik finden wir in Eberts uns bekanntem Werke. Nachdem die Differentialgleichungen für einen elektromagnetischen Kraftstrahl aufgestellt sind, wird die Art dieser Strahlung als eine transversale erkannt und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der entsprechenden Wellen bestimmt, wobei sich die wichtige Wahrheit ergiebt, daß der Brechungsindex, ins Quadrat erhoben, die Dielektrizitätskonstante liefert. Dispersion, Absorption und Doppelbrechung treten uns als einfache Korollarien der Grundgleichungen entgegen. So wird es denn der elektromagnetischen Lichttheorie zweifellos auch gelingen, eine auffallende Spektralerscheinung sich einzugliedern, welche seit 1897 als Zeemansches Phänomen viel von sich reden gemacht hat. Bringt man Flammen, in denen ein Metall verglüht, in ein starkes Magnetfeld, so ändert sich spektroskopisch der Charakter der von der Flamme ausgesandten Schwingungen. Die Linien werden gespalten, und die beiden so resultierenden Linien erweisen sich als kreisförmig, und zwar mit entgegengesetztem Drehsinne, polarisiert, falls das entsandte Licht die Richtung der Kraftlinien einhält, wogegen, wenn die Richtungen beider senkrecht zu einander stehen, sogar eine noch intensivere Spaltung die Folge ist. Zunächst wurde dies bei der Natriumflamme beobachtet, allein es ist wohl jeder Zweifel darüber ausgeschlossen, daß man es da mit einer generellen magnetischen Beeinflussung der Spektrallinien zu thun hat. Im Jahre 1897 gleich hat sich W. Koenig eingehend mit dieser Erscheinung beschäftigt. Zwei der allerumfassenden Energieformen, Licht und Elektrizität, sind also beim Schlusse des Jahrhunderts in derart innige Wechselbeziehung gelangt, daß man mit vollstem Rechte in beiden nur Äußerungen ein und derselben beherrschenden Naturkraft erblicken darf, denen gegenüber sich nur das menschliche Auffassungsvermögen verschieden verhält; in uns selbst und nicht objektiv in der Natur liegt der Grund der Verschiedenheit. Daß es sich aber so verhalte, wird uns um so einleuchtender, wenn wir uns gegenwärtig halten, daß seit ungefähr fünfzehn Jahren ganz neue, früher nicht einmal geahnte

Formen strahlender Energie wahrgenommen und untersucht worden sind, welche zwar mit dem Lichte als solchem gar manche Eigenschaft gemein haben, nebenher aber doch auch wieder ein Sonderdasein zu führen scheinen und uns zeigen, daß ein großer Teil unserer physikalischen Vorstellungen einer Umbildung fähig und bedürftig ist. Wir sind bei jener weitverzweigten Klasse dem gewöhnlichen Lichte ähnlicher und doch wieder von ihm sehr verschiedener Beeinflussungen unseres Sehorganes angelangt, deren Studium durch K. Wilhelm Roentgens große Entdeckung in ein neues Geleise gekommen ist, und stehen vor einem neuen Zweige der Naturlehre, der auch dann, wenn es keine elektromagnetische Theorie des Lichtes gäbe, als ein überaus merkwürdiges Grenzgebiet zwischen Optik und Elektrizitätslehre angesehen werden müsse.

Es erregte im Jahre 1876 einiges Aufsehen, daß Crookes, der seine Studien über das Radiometer sofort zu solchen über die strahlende Materie erweiterte, von dieser letzteren einige Eigenschaften hervorhob, welche sie mit dem Lichte gemein haben sollte, ohne doch Licht im engeren Wortsinne zu sein. Die strahlende Materie, wie sich zuerst Faraday ausgedrückt hatte, sollte zum Phosphoreszieren anregen, geradlinige Fortpflanzung aufweisen, mechanische und thermische Wirkungen ausüben und bei Auftreffen auf ein impermeables Hindernis hinter diesem einen Schatten erzeugen. Soweit war kein auffälliger Unterschied vorhanden; wohl aber bedingte einen solchen Crookes' Wahrnehmung, daß ein Magnet die Strahlen ablenke, was ja beim Lichte bekanntlich, solange es unpolarisiert ist, nicht zutrifft. Litteraturstudien ergaben, daß auch aus früherer Zeit schon Beobachtungen über solche Strahlungserscheinungen vorlagen, nämlich von F. Zantedeschi (1797—1873), von Plücker und insbesondere von J. P. Gassiot (1797—1877), der schon 1858 der „British Association" eine interessante Mitteilung über die Phosphorenz elektrischer Entladungen im Vakuum gemacht hatte. Eingehend studierte von 1880 an E. Goldstein diese immerhin noch sehr nahe mit dem eigentlichen Lichte verwandten Ausstrahlungen, für die er, da scheinbar nur das eine der beiden in die evakuierte Röhre hineinragenden

Drahtenden Träger der Erscheinungen war, den treffenden Namen Kathodenstrahlen einführte. Er wies nach, daß eine so bequeme Interpretation derselben im Sinne der kinetischen Gastheorie, wie sie Crookes für angezeigt gehalten hatte, unerlaubt und daß auch das von den Kathodenstrahlen durchdrungene Feld durchaus kein so enge begrenztes sei, wie sein Vorgänger angenommen hatte, daß vielmehr, wenn nur die Verdünnung weit genug getrieben sei, der Strahlungsprozeß sich bis in die normalen Lichtbüschel hinein fortsetze, welche die Anode umgeben. Der allerdings schon von Plücker gehegten Idee, es möge wohl eine direkte Lostrennung und Überführung feinster Metallteilchen in Mitte liegen, gab W. F. Gintl (geb. 1843) bestimmteren Ausdruck, und J. Puluj (geb. 1845) bildete bald nachher („Die strahlende Elektrodenmaterie und der sogenannte vierte Aggregatzustand“, Wien 1883) diese neue Emanationstheorie, wegen deren wir eben oben sagen durften, daß Newtons Emissionshypothese wahrscheinlich zu neuem Leben werde erweckt werden, weiter aus, indem er dieselbe zu Edlunds Äthertheorie in engste Beziehung setzte. Allerdings regte E. Wiedemann zu Beginn der achtziger Jahre mit jedenfalls beachtenswerten Gründen die Frage an, ob nicht doch am letzten Ende die Kathodenstrahlen als wirkliche Lichtstrahlen betrachtet werden dürften, aber A. Schuster ist 1884 wieder zur korpuskularen Auffassung übergegangen. Daß den mysteriösen Strahlen eine namhafte Dispersion zukomme, bewiesen 1896 Wiedemann und Ebert; die chemische Wirkung von Licht- und Kathodenstrahlen hinwiederum muß nach den Versuchen von R. Abegg als verschieden angenommen werden. Bezüglich der Magnetablenkung, deren erste Konstatierung wohl auf Hittorf (1869) zurückgehen möchte, wurde von Hertz (1883) und einige Jahre später von Ph. v. Lenard (geb. 1862) eine sehr zu weiteren Studien anregende Thatsache eruiert: Der Magnet verändert zwar die Richtung der Kathodenstrahlen, nicht aber bringen diese irgendwelche Ablenkung eines beweglichen Magneten zuwege. Von Hertz wurde die Vermutung ausgesprochen, daß es auch unter den Kathodenstrahlen große Verschiedenheiten gebe, die aber durch stetige Übergänge ausgeglichen

seien, ebenso wie die verschiedenen Farbenstrahlen des Lichtes untereinander zusammenhängen. Damit wäre möglicherweise auch zu vereinigen v. Lenards Entdeckung von 1894, daß keine absolute Übereinstimmung von Kathodenstrahlen und strahlender Materie besteht. Ebenso weiß man seitdem, daß auch die Anodenstrahlen ihre Besonderheiten besitzen. Nach v. Lenard werden diese Strahlungsphänomene durch die Entladung zwar ausgelöst, sind aber im übrigen von ihr unabhängig; der 23. Abschnitt wird uns Gelegenheit geben, die geophysikalische Bedeutung dieser neuen Auffassung des Sachverhaltes zu würdigen, indem man neuerdings auch das Polarlicht als das Glimmlicht eines von Kathodenstrahlen erregten Gases gelten lassen will. Über die lichtelektrische Erregung, die A. Righi (geb. 1855) im Jahre 1888 zuerst wahrgenommen zu haben angiebt, wird weiter unten noch zu sprechen sein; genauer ist sie 1889 durch die beiden Wolfenbütteler Physiker J. Elster (Abschnitt XIX) und H. Geitel untersucht worden, die sich in einer Weise, die in der Geschichte der Wissenschaft beinahe als ein Unikum dasteht, zu gemeinsamer Arbeit, vorwiegend auf dem Gebiete der Luftelektrizität, aneinandergeschlossen haben, und 1890 trat W. Hallwachs in eben dieses Forschungsfeld ein. Die Schichtung des „Kathodenlichtes", betreffs deren eine unleugbare Analogie des letzteren und des 1862 von E. Reitlinger (1830—1882) auf diese Eigenschaft geprüften elektrischen Lichtes obwaltet, wurde Untersuchungsobjekt von Hertz (1883) und E. Goldstein (1897). Die Erklärung des so entstehenden dunklen Kathodenraumes hat letzterem Physiker zufolge in dem Sinne zu erfolgen, daß es außer den gewöhnlichen, direkten Kathodenstrahlen noch eine zweite, zu diesem Strahlenbündel senkrecht stehende Strahlengattung giebt, und daß eine Deflexion, die zwischen beiden Gattungen sich ergiebt, die Bildung lichtfreier Räume im Gefolge hat. W. Kaufmann will seinerseits (1900) an einen Zusammenstoß der wandernden Jonen denken, der ihrer Wiedervereinigung vorhergehen müßte.

Eine große Menge unbezweifelter Wahrheiten, schwankender Erklärungen und noch völlig ungelöster Rätsel ist uns, wie obige summarische Zusammenstellung zeigt, in der Spanne Zeit zugeführt

worden, während deren die Kathodenstrahlen überhaupt auf der wissenschaftlichen Tagesordnung stehen. Und doch sind dieselben noch nicht dann von ihrem größten Einflusse auf die Naturerkenntnis, wenn sie in der Röhre verbleiben, innerhalb deren sie sich zuerst offenbarten, sondern ihre wahre Würdigung wurde erst in dem Augenblicke möglich, da sie ihr Gefängnis verließen und in die Freiheit hinaustraten. Diesen Befreiungsakt bahnte Goldstein 1886 an, indem er die Kathode durchlöcherte und so den Kanalstrahlen den Austritt verschaffte, welche keine photographische Wirkung ausübten und dem Magneten gegenüber ein neutrales Verhalten bekundeten. Immerhin blieb es wünschenswert, der Gesamtheit des „Kathodenlichtes" zum Ausgange zu verhelfen, und da schon Kundt erkannt hatte, daß unter Umständen eine Durchlässigkeit von Metallen für Licht überhaupt eintreten kann, so lag für Hertz und v. Lenard erneute Veranlassung vor, nach geeignet permeablen Metallen speziell für Kathodenstrahlen zu suchen. Dieses Streben war von Erfolg gekrönt, denn seit 1892 war man mit v. Lenards Aluminiumfenster bekannt geworden, welches, an das eine Ende der mit dem verdünnten Gase gefüllten Glasröhre gesetzt, den größten Teil der Kathodenstrahlen frei passieren ließ. Man durfte also hoffen, dieser Erscheinung unter neuen Versuchsbedingungen nachspüren und damit auch an ihr manche bisher unbekannte Eigentümlichkeit aufdecken zu können, aber niemand mochte an eine so völlig unerwartete Art der Erfüllung dieser Hoffnung denken. Die durch ein derartiges Fenster gegangenen Kathodenstrahlen sind in ihrem ganzen Charakter umgewandelt und in sogenannte X-Strahlen transformiert worden.

Gegen Ende 1895 wurde eine „vorläufige Mitteilung" von K. W. Roentgen (geb. 1845), damals in Würzburg, bekannt, die vielfach mit Staunen, ja sogar mit Unglauben, aufgenommen ward, weil sie den in den vierziger Jahren, wie unser achter Abschnitt darthat, aufgekommenen und rasch wieder abgethanen Begriff unsichtbares Licht in ganz eigenartiger Weise zu neuem Leben aufzuwecken schien. Statt des Aluminiumverschlusses diente schwarzer Karton, der die außerordentlich stark ausgepumpte, dem Durch=

gange des elektrischen Funkens ausgesetzte Röhre verhüllte. Wurde dann das Beobachtungszimmer verdunkelt und ein Fluoreszenzschirm den durch den Karton gegangenen Strahlen in den Weg gestellt, so leuchtete der Schirm auf, sobald der Strom passierte, einerlei welche Seite der Platte, die mit der Paste bestrichene oder die freie, zuerst getroffen worden war. Auch Staniolblätter, Holzklötze, dicke Bücher erwiesen sich als durchgängig für jene Strahlen, denen ihr Entdecker die erwähnte Bezeichnung beilegte, weil sie sich eben so ganz anders als eigentliche Lichtstrahlen manifestierten, die aber seitdem durch stillschweigendes Übereinkommen der Fachleute den Namen Roentgenstrahlen empfangen haben. Eine Ablenkung des Magneten ließ sich durch dieselben nicht erzielen, was eben auf eine gewisse innere Verschiedenheit von den Kathodenstrahlen hindeutet. Roentgen selbst hat seine Strahlen nach den verschiedensten Seiten hin auf ihre Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung untersucht, und in stets wachsender Menge haben ältere und jüngere Gelehrte sich an dieser lockenden Thätigkeit beteiligt. Schon 1896 bemerkten Winkelmann und R. Straubel, daß die Roentgenstrahlen, wenn sie auch durch fluoreszierende oder phosphoreszierende Medien sichtbar gemacht werden, keine direkte Fluoreszenzwirkung ausüben. Eine gewisse Diffraktion scheint durch M. Maiers und J. Prechts Versuche festgestellt zu sein, aber die Brechbarkeit ist zum mindesten außerordentlich gering, und selbst beim Diamanten, mit dem K. A. Voller (geb. 1842) und B. Walter manipulierten, trat keine eigentliche Refraktion zu Tage. Hat man es mit einer Wellenbewegung zu thun, so besitzen nach L. Fomm diese Wellen wenigstens nur eine sehr kleine Länge, wenigstens fünfzehnmal kleiner als die kürzeste Wellenlänge eines ultravioletten Strahles. Fr. Richarz wies nach, daß sich ein Dampfstrahl nicht gleichgiltig gegen die ihn treffenden X-Strahlen verhält, was dazu nötigen könnte, das Auftreten von Jonen in der Luft anzunehmen. Voller und Walter halten dafür, daß den rätselhaften Strahlen der Rang einer selbständigen Energieform eingeräumt werden müsse, indem die Umwandlung der elektrischen Strahlungs- in Wärmeenergie aufhöre und durch eine bis dahin unserer Sinneswahrnehmung entzogen

gewesene Offenbarung der Energie Ersatz geboten werde; E. F. Dorn (geb. 1848) ist der Ansicht, daß die Energie der Roentgenstrahlen weit hinter derjenigen der Kathodenstrahlen zurückstehe. Noch weiß man nicht mit absoluter Bestimmtheit, ob das Auge gar keine Einwirkung seitens der in Rede stehenden Strahlen erleidet, und Beobachtungen, die Dorn und G. Brandes fürs erste an einer der Linse entbehrenden Person, hernach aber auch an normalsichtigen Menschen anstellten, lassen eher eine positive Auslegung als das Gegenteil zu. Theoretisch läßt sich noch nichts irgendwie Zuverlässiges über Roentgens große Entdeckung aussagen; die sehr nahe liegende und von Ketteler verteidigte Vermutung, daß ein longitudinaler Schwingungsvorgang zu postulieren sei, will sich mit anderen Erwägungen, wie sie insonderheit von Winkelmann vorgebracht worden sind, nicht recht vereinbaren lassen.

Gleich ein Jahr später, also 1896, trat der Entdeckung der Roentgenstrahlen eine höchst merkwürdige Konkurrenzentdeckung zur Seite, nämlich die der Becquerelstrahlen. A. H. Becquerel (geb. 1852), durch seine Studien über Phosphorographie des infraroten Spektrums bereits vorteilhaft bekannt geworden, lehrte uns seit 1896 die von phosphoreszierenden Körpern ausgehenden unsichtbaren Strahlen kennen und stellte eifrigst alle die Substanzen zusammen, welchen diese Befähigung der Strahlenemission zukommt. Uranoxydstrontium, Zinksulfid, Schwefelkalium, Schwefelbaryum, gewisse Wolframite und Kohlenwasserstoffe gehören zu diesen Materien, und da Uranglimmer die Strahlung besonders begünstigt, so spricht man auch wohl kurzweg von Uranstrahlen. Alle diese Strahlen gehen anstandslos durch Papier und Gelatine hindurch und können in ähnlicher Weise, wie die ihnen zweifellos verwandtschaftlich zugethanen Roentgenstrahlen, zum Aufleuchten gebracht werden. Neuestens freilich sind manche Angaben über diese Strahlen wieder unsicher geworden.

Seit 1894 steht auch noch eine weitere Klasse von Schwingungserscheinungen zur Diskussion, und letztere ist ohne Aufhören gepflogen worden. Den Einfluß des ultravioletten Lichtes



Wilhelm Konrad Röntgen

auf die elektrische Entladung hatte Hertz 1887 außer Zweifel gestellt, und allmählich war man zu der Überzeugung geführt worden, daß eine photoelektrische Strömung existiere. Elster und Geitel, Warburg, E. Pringsheim, der auch die Fähigkeit der Gase, durch bloße Temperaturerhöhung zum Leuchten gebracht zu werden, experimentell nachwies, haben diese Seite der Elektrooptik nachhaltig gefördert, und auch E. Branly (geb. 1844) sprach es als Ergebnis seiner Analyse des als Elektrizitätszerstreuung bekannten Phänomenes aus: Jenes Licht löst in verdünnten Gasen elektrische Schwingungen aus. Jenes Selbstleuchten erhitzter Gase kann demnach auch als ein elektrischer Prozeß aufgefaßt werden. Sehr charakteristische Entladungen haben auch J. J. Thomson (geb. 1857), O. Lehmann und (1892) der Amerikaner M. J. Pupin beschrieben. Unseren momentanen Wissensstand und die daraus für die nächste Zukunft entfließenden Aussichten für eine tiefere Erforschung der hier vorliegenden, auch molekulartheoretisch neue Anhaltspunkte gewährenden Erscheinungskomplexe zeichnet eine von J. J. Thomson verfaßte, unter Mitwirkung von P. Ewers und Ebert auch ins Deutsche übertragene Schrift („Die Entladung der Elektrizität durch Gase", Leipzig 1900). Neue Untersuchungen v. Lenards über die winzigen Quanten, Elektrizitätsmengen im Bewegungszustande, die wahrscheinlich die Ursache der Kathodenstrahlen ausmachen, wird erst das 20. Jahrhundert ihrer vollen Tragweite nach zu würdigen haben.

Wenn wir nun, am Marksteine zwischen zwei Jahrhunderten stehend, die Errungenschaften mustern, welche die Frucht innigster Verschmelzung von Optik und Elektrizitätslehre darstellen, so können wir einstweilen drei Modalitäten des Strahlungsprinzipes unterscheiden. An erster Stelle steht das altbekannte Licht, einerlei ob es unmittelbar unserer Netzhaut seine Anwesenheit verkündigt oder, durch die Hilfsmittel der Phosphoreszenz und Photographie in seinem Geltungsbereiche gestärkt, nur indirekt auf das Auge wirkt. Es folgen die Kanal- und Kathodenstrahlen, und zum dritten endlich die Roentgenstrahlen als — soweit bislang unsere Kunde reicht — autonome Bethätigungsformen der Strahlungsenergie des Welt-

äthers. Die dunklen Wärmestrahlen und die elektromagnetischen Wärmebewegungen gehören unserer heutigen Anschauung nach in die Lehre vom Lichte selbst hinein; die strahlende Materie dagegen weist, wie wir für möglich und sogar für gar nicht unwahrscheinlich halten müssen, auf eine ohne Vermittlung vibratorischer Vorgänge erfolgende Abschleuderung von Korpuskeln hin, und eine solche ist auch bei der elektrischen Gasentladung schwerlich ganz ausgeschlossen. Wir nehmen hiermit Abschied von den Strahlungsphänomenen, uns vorbehaltend, im nächsten Abschnitte noch auf eine gewisse praktische Verwertung derselben unser Augenmerk richten zu dürfen.

Von der reinen Theorie zu deren technischer Ausnützung überzugehen, wird schon jetzt unsere Aufgabe sein. So manche der vorstehend berührten Thatsachen wäre nicht oder doch nicht so bald ausfindig gemacht worden, stünden nicht dem modernen Elektriker Apparate von oft staunenswerter Leistungsfähigkeit zur Verfügung, an die noch vor kurzer Zeit auch eine hochfliegende Phantasie kaum hätte denken können. Ein neuer Wissenszweig, die Elektrotechnik, ist in den letzten drei Jahrzehnten rapid herangewachsen, und nachdem Darmstadt unter der Leitung E. Kittlers (geb. 1852) vorangegangen war, sind alle technischen Hochschulen mit Laboratorien und auch mit mehreren Professuren des in seiner Zukunftsbedeutung noch lange nicht zu übersehenden Faches ausgerüstet worden. Eine detaillierte Skizzierung der Entwicklungsstadien desselben wird niemand hier erwarten; nur einige besonders hervorstehende Momente können kurzer Erwähnung teilhaftig werden, wogegen sich der „Geschichte der Technik“ in einer meritorischen Schilderung der Elektrotechnik im letzten Drittel des Jahrhunderts ein dankbares Arbeitsfeld eröffnet.

Kenner verlegen nämlich den eigentlichen Anfang dieser Disziplin in das Jahr 1867, in welchem Poggendorffs „Annalen“ eine außergewöhnlich folgenreiche Abhandlung von Werner Siemens („Umwandlung von Arbeitskraft in elektrischen Strom ohne Anwendung permanenter Magnete“) gebracht haben. Wir folgen dem Sprachgebrauche, lassen Telegraphie und Telephonie einstweilen noch bei Seite und halten uns zunächst bloß an die

maschinelle Arbeitsleistung der Elektrizität. Bei jedem Einzelfalle muß unterschieden werden, welche Aufgabe der elektrischen Kraft übertragen ist, ob sie als Generator oder als Transformator zu wirken hat. Wenn wir den mechanischen Prozeß, der sich bei jeder Kraftumwandlung, somit in allen Fabrikanlagen, abspielt, in seine einzelnen Teile zerlegen, so nehmen wir wahr, daß dreierlei nicht entbehrt werden kann, daß vielmehr stets vorhanden sein müssen: Erstens ein mechanischer Motor als Anfangsmaschine, der durch niederfallendes Wasser, Dampf, Gaskraft, Benzinexplosion, oder wie immer die Urkraftquelle geartet sein möge, Bewegung erzeugt; zweitens eine dynamoelektrische Zwischenmaschine, kurz gemeiniglich Dynamo genannt, mittelst deren gewöhnliche mechanische Arbeit in Strom umgesetzt wird; zum dritten endlich die wiederum dynamoelektrische Endmaschine, mittelst deren die Energieform des Stromes unter der veränderten Gestalt mechanischer Arbeitsleistung sich bethätigt. Daß bei den einzelnen Transformationen Energie zwar nicht gerade verloren geht, was ja grundsätzlich unmöglich ist, wohl aber für Zwecke verbraucht wird, die mit demjenigen, den der Mensch mit seiner Maschine anstrebt, nicht in Zusammenhang stehen, versteht sich ganz von selbst, aber es ist eben den Elektrotechnikern der neuesten Zeit gelungen, dieses praktisch nutzlose „Abtropfen von Energie“ auf ein äußerst niedriges Maß herabzudrücken und so der durch Elektrizität betriebenen Maschine vor der durch Dampf betriebenen in sehr vielen Fällen einen entschiedenen Vorsprung zu sichern.

Die magnetelektrische Maschine von Siemens & Halske, die also den Reigen anführt, erzeugte in der Art und Weise, wie wir dies bei dem Apparate von Pixii kennen gelernt haben, sogenannte Wechselströme; so nennt man die in außerordentlich rascher Folge sich gegenseitig ablösenden und eine entgegengesetzte Richtung einhaltenden Induktionsströme — Schließungsstrom und Öffnungsstrom —, deren rascher Wechsel durch Einschaltung eines Rheotomes, etwa des Wagnerschen Hammers, erreicht wird. Um den Wechselstrom in Gleichstrom überzuführen, ist ein Kommutator erforderlich. Das Siemenssche Prinzip fand sofort

Anklang, namentlich auch in England, wo Wheatstone unabhängig die gleiche Entdeckung gemacht hatte. Auf der Pariser Weltausstellung (1867) wurde eine etwas verbesserte Maschine ohne Batterie ausgestellt, welche der Engländer Ladd konstruiert hatte. Da jedoch der Magnetismus des rotierenden Eisenstückes auch hier kein konstanter ist, so mußte das gleiche Gebrechen auch dem erzeugten Strome anhaften, und deshalb blieb noch ein Desideratum übrig, dem in bescheidenerem Maße 1870 Pfaundler mittelst eines von dem Mechaniker Kravogl hergestellten Motors abhalf. Für industrielle Zwecke freilich bedurfte man mächtigerer Leistungen, und solche wurden ermöglicht, als der belgische Modelltischler Z. Th. Gramme (geb. 1826) im Jahre 1871 aus dem zuvor mehr nur als theoretische Kuriosität betrachteten Pacinottischen Ringe das unentbehrliche Inventarstück großer magnetelektrischer Maschinen machte.

Antonio Pacinotti (geb. 1841) hat in der That das hier obschwebende Zuleitungsgesetz schon als junger Mann ganz klar erfaßt gehabt, aber da er nur Physiker und nicht zugleich ausübender Elektrotechniker war, so konnte es geschehen, daß Gramme den viel benützten Ring von neuem erfand und nun auch gleich die vollen Vorteile dieser genialen Anordnung ausbeutete. Auch bestand insofern ursprünglich eine Verschiedenheit zwischen beiden Konstruktionsarten, als Pacinotti den Ring zwischen zwei Magnetpolen sich drehen ließ, während Gramme den Ring fest und um eine auf dessen Hauptebene senkrechte Achse den Magneten rotierend annahm. Man hat selbstredend auch da in den Einzelheiten mannigfach gebessert, den Magneten aus Jaminschen Lamellen zusammengesetzt und, je nach den Verhältnissen des Bedarfes, Hoch- und Flachringe verfertigt, aber an der Sache selbst nichts wesentliches geändert. In der Anbringung zweckdienlicher Modifikationen zeichnete sich die nachmals in eine Aktiengesellschaft verwandelte Fabrik elektrischer Apparate aus, welche der unter Siemens und Edison herangebildete Nürnberger Mechaniker J. S. Schuckert in den achtziger Jahren in einem Vororte seiner Vaterstadt Nürnberg begründete, und die gegenwärtig einen Personalstand von mehr denn 300 fachmännischen Beamten und

2000 Arbeitern aufweist. Der Grammesche Ring giebt, eben vermöge der eigentümlichen Art der Drahtumwicklung, die ohne ziemlich große Umständlichkeit kaum zu verdeutlichen ist, den gewünschten Gleichstrom, und zwar fließt derselbe ununterbrochen mit so gut wie konstanter Stärke. Der störende Stromwender war beseitigt, das Dynamoprinzip in seiner Reinheit zur Geltung gebracht. Wenn man statt des Hochringes, wie 1872 v. Hefner-Alteneck anregte, direkt den Trommelanker anwendet, so wird auch der immerhin noch fühlbare Übelstand beseitigt, daß die Bewicklung des Ringes mit Draht eine etwas mühselige Sache ist. Die Firma Siemens & Halske baute bald Ringmaschinen und Trommelmaschinen der verschiedensten Art, zu denen später noch die Innenpolmaschinen, die keiner so großen Umdrehungsgeschwindigkeit bedürfen, hinzugefügt wurden. Die rasche Rotation bedingt nämlich, weil die magnetische Hysteresis Wärme erzeugt, Hindernisse, denen die neueren Konstrukteure aus dem Wege zu gehen bestrebt sind.

Einige Zeit schien es, als ob die Gleichstrommaschinen den definitiven Sieg davontragen sollten, aber im letzten Jahrhundert trat ein entschiedener, schon von längerer Hand vorbereiteter Umschwung ein, und zwar deshalb, weil sich durch Zusammenschaltung von Rollen sogenannte Mehrphasenströme der nämlichen Maschine entnehmen lassen. Die Erzeugnisse der Gesellschaft Helios in Köln-Ehrenfeld und der schweizerischen Maschinenfabrik Oerlikon, sowie auch der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft in Berlin haben die neue Ära begründet. Mit dem Wechselstrome wetteifert eben der durch Kombination solcher Ströme entstandene Dreiphasen- oder Drehstrom, mit dessen Hilfe anläßlich der elektrischen Ausstellung von Frankfurt a. M. das großartige Problem der elektrischen Kraftübertragung auf eine Distanz von 175 km zu allseitiger Zufriedenheit gelöst worden ist. Die mechanische Kraft gaben die Stromschnellen des Neckar bei dem württembergischen Städtchen Lauffen her, welche 200 Pferdekräfte an die hier aufgestellte Dynamomaschine abgaben, und durch Anwendung von sogenannten Öltransformatoren war man so viel Kraft nach Frankfurt hinüberzuleiten imstande, daß man dortselbst

die vielseitigste Verwendung davon zu machen vermochte. Die unverhältnismäßig größere Energie der Niagara-Fälle muß sich seit 1894 eine analoge Ausnützung gefallen lassen; freilich ist es einstweilen nur etwa der hundertundvierzigste Teil der Gesamtleistung, der in Turbinen gesammelt und den benachbarten Fabriken — zur etwas kleineren Hälfte denjenigen der Stadt Buffalo — übermittelt wird.

Die in den Dienst der Beleuchtungsindustrie gestellte Elektrizität hat uns schon früher beschäftigt. Koch- und Heizapparate benötigen eine möglichst gleichbleibende Stärke des Stromzuflusses im Glühlichte, wie sie Edison durch seine Parallelschaltung ermöglichte, und wie sie nicht minder auch die Compoundmaschinen garantieren, deren Eigenart darin besteht, daß Haupt- und Zweigstrom gleichmäßig erregend auf den Magneten wirken. Pumpen und Aufzugskrahnen werden ebenfalls in unseren Tagen mit Vorliebe elektrisch betrieben; die dazu dienenden, nach Deprez' Vorschriften eingerichteten Maschinen erheischen konstante Klemmenspannung; so bezeichnet man den Unterschied der Spannungen an den Polen der gebrauchten Elemente, im übertragenen Sinne also an den Enden der Maschine. Die erste elektrische Eisenbahn erbaute die Firma Siemens & Halske für die Berliner Gewerbeausstellung des Jahres 1879. Von den Akkumulatorbahnen, von denen oben die Rede war, und von denen man im Frühling 1900 in München mehr hören mußte, als den Bewohnern der Stadt erwünscht war, sehen wir hier ab; die oberirdische Zuleitung, bei der ein Gleitstück an den gespannten Drähten die Zuleitung besorgt, ist wohl die allgemeinste. Die bekannteren Methoden, die in der Praxis durchdrangen, sind als Trolley- und als Sprague-System bekannt. Elektro-Automobile fanden in Frankreich und in einigen Gegenden der Schweiz vielen Beifall; da nämlich, wo Gelegenheit geboten ist, die Energieladung der den Strom hergebenden Bleiplatten in einer elektrischen Zentrale von Zeit zu Zeit wieder auffrischen zu können. Die elektrische Schiffahrt ist über die Modelle, welche wir im achten Abschnitte als eine Erfindung v. Jacobis kennen lernten, noch nicht allzu weit hinaus gediehen, doch ließ vor kurzem

das vielgenannte Berliner Etablissement das Boot „Elektra“ herstellen und auf der Spree seine Fahrten machen, und aus der gleichen Quelle stammt der Plan, auf dem Leinpfade eines Schiffahrtskanales eine kleine elektrische Lokomotive laufen zu lassen, welche durch ein Triebseil mit einem Schiffe verbunden wird und solchergestalt den Remorqueur spielt. Versuche am Finow-Kanale in der Mark haben die Lebensfähigkeit eines solchen Beförderungssystemes unzweifelhaft dargethan.

Jetzt ist es an der Zeit, zur Telegraphie zurückzukehren, die wir nach kurzer Darlegung der Grundsätze, von denen sich Morse leiten ließ, verlassen haben. Sein Telegraph, der ihm die vielfältigsten Ehrungen und Belohnungen eintrug, hatte bald die älteren Nadeltelegraphen verdrängt, wurde aber auch selbst von zahlreichen Elektrikern verbessert und verfeinert. A. Kramer erfand den Farbschreiber, den Th. John 1854 vervollkommnete, und die chemische Telegraphie, die schon H. Davy im Jahre 1838 und A. Bain (1818—1877) im Jahre 1846 durch Patente auf ihre Systeme der Welt zugänglich gemacht hatten, erhielt eine sehr zweckmäßige Einrichtung durch den österreichischen Telegraphendirektor J. W. Gintl (1804—1883). Ja, man versuchte sich sogar an Kopiertelegraphen, um eine Schrift ohne intermediäre Übertragung an einem entfernten Orte getreu abbilden zu lassen. F. C. Bakewell realisierte diese Idee 1847 ganz glücklich und ermutigte so den Abbé G. Caselli (1815—1891) zur Konstruktion seines genial ersonnenen Pantelegraphen („Telegrafo pantografico“, Rom 1859), der nicht nur Schriftzüge, sondern sogar Zeichnungen reproduzierte. Ein elektromagnetischer Kopiertelegraph war (1851) das Werk des Vorstandes der schweizerischen Telegraphenwerkstätte in Bern M. Hipp (1813—1893), der sich sonst bei den Astronomen durch seine trefflichen Zeitregistratoren bekannt gemacht hat. Die anscheinend ganz zurückgestellten Zeigertelegraphen brachte 1847 Werner Siemens zu erneuten Ehren, und 1850 ergänzte er diese Erfindung durch die der Typendrucktelegraphen, bezüglich deren allerdings nachher dem als Erfinder hervorragenden D. E. Hughes (geb. 1831) der Preis zuerkannt werden mußte. Der von ihm, in Verbindung

mit G. Phelps, ausgeführte Apparat wurde 1856 auf einigen nordamerikanischen Linien in Betrieb genommen, und 1868 erklärte ihn die internationale Telegraphenkonferenz als für lange Strecken besonders geeignet.

Schon 1837 und, in bestimmterer Form, 1840 wurde die Notwendigkeit unterseeischer Telegraphenleitungen betont; v. Schilling und Wheatstone standen unter den Befürwortern solcher Unternehmungen zeitlich oben an. Werner Siemens empfahl 1846 die isolierende Guttaperchahülle, und J. Brett telegraphierte vier Jahre nachher thatsächlich zwischen Dover und Calais. Wiederum vier Jahre waren vergangen, als der Großkaufmann C. W. Field (1819—1892) in Newyork einen Aufruf zur submarinen Verbindung der Alten und Neuen Welt erließ; Morse, um ein Sachverständigen-Gutachten angegangen, sprach sich zustimmend aus. Field rief eine „Atlantische Telegraphencompagnie" ins Leben und operierte, von den Regierungen der Union und Großbritanniens unterstützt, so geschickt, daß, obwohl zwei Jahre hindurch nur Mißerfolge zu verzeichnen waren, gleichwohl 1858 ein zwei Wochen dauernder Depeschenwechsel eingeleitet werden konnte. Dann riß freilich wieder der Draht, und erst 1865 konnte das Riesenschiff „Great Eastern" aufs neue an die Arbeit der Kabellegung gehen. Seit 15. Juni 1866 hat dann keine anhaltende Unterbrechung des atlantischen Drahtverkehrs mehr stattgefunden, wohl aber hat sich eine ganze Anzahl weiterer Linien an die erste angereiht, und auch auf dem Grunde der anderen Ozeane ziehen sich Drahtleitungen von ungeheurer Länge hin. Schon 1885 betrug die Gesamterstreckung des Kabelnetzes ungefähr 120000 Kilometer. Die von Werner Siemens angegebenen Kabel, deren Zusammensetzung wesentlich die gleiche geblieben ist, müssen im allerstrengsten Sinne isoliert sein, und zu diesem Ende wird die Kabelseele, aus mehreren verflochtenen Drähten von nicht ganz 1 mm Durchmesser bestehend, in eine Umhüllung aus Guttapercha eingepreßt, die selbst wieder auf ganz besondere Weise angefertigt werden muß. Eine doppelte Lage geteerten Hanfgarnes umschließt diesen inneren Körper, der wieder in verzinkte Eisendrähte eingehüllt und häufig noch durch einen Bleimantel geschützt wird, der selbst wieder mit

einer Schicht von Hanfgarn durch Asphaltierung verbunden ist. Das gewaltige Gewicht des Gesamtkabels, welches bei der ersten Legung 4000 Tonnen wog, bedingt natürlich, wenn sich der Akt des Herablassens vollzieht, eine gewisse Gefahr des Zerreißens; doch ist die Folge eines solchen immerhin unerquicklichen Zwischenfalles nicht mehr eine so schlimme, wie sie dies früher war, indem die mühselige Prozedur des Wiederauffischens des versunkenen Teiles und des Zusammenspleißens beider Stücke schon zum öfteren glücklich von statten ging.

Eine ganz originelle Art des Nachrichtengebens durch den elektrischen Strom hat in den letzten Jahren die Forscher angelegentlich beschäftigt, nämlich die drahtlose Telegraphie, auch Funkentelegraphie genannt. Wie bedeutsam dieselbe im Kriege werden kann, braucht nicht auseinandergesetzt zu werden; sie würde weitaus die gewiß auch geistvoll kombinierte Heliographie übertreffen, welche die Engländer dem Gaußschen Feldmesserapparate Heliotrop nachgebildet und bereits in zahlreichen Kolonialkriegen zu erfolgreicher Anwendung gebracht haben. Erwogen war die Möglichkeit einer solchen Korrespondenz schon mehrfach worden, aber die Verwirklichung der Pläne scheiterte stets, und erst die Hertzsche Entdeckung der elektrischen Wellen verhalf zu einer Lösung der Aufgabe, die schon ganz hübsche Erfolge gezeitigt hat und weitere in nahe Aussicht stellt. Es war der junge Turiner Polytechniker Marconi, der mit geschickter Ausnützung der Hertzschen Methoden das leistete, was sich J. W. Gintl, R. van Rees (1797—1875), K. L. Schwendler (1838—1882), der Theoretiker der sogenannten Duplex- oder alternierenden Telegraphie, und noch manche andere zum Ziele gesetzt hatten, ohne zu diesem durchzudringen. Wir erwähnten vorhin der Arbeiten Branlys, der in einer mit äußerst fein verteiltem Metallpulver teilweise gefüllten Röhre, „Kohärer" genannt, eines der empfindlichsten Reagentien für elektrische Wellen nachgewiesen hatte. Der sonderbare und wenig deutliche Name soll anzeigen, daß die lockeren Metallsplitterchen durch die Wellen kohärent gemacht, gewissermaßen verkittet werden; die unsichtbaren, winzigen Fünkchen, welche durch eine solche Unzahl von Unstetigkeitsstellen

im Strome erzeugt werden, besorgen das Zusammenschweißen. Marconi verband 1895 die Lokalbatterie eines Kohärers mit einer elektrischen Klingel und war so in die Lage versetzt, jede herankommende Welle akustisch zu signalisieren, ähnlich wie Ebert den Hertzschen Brechungsversuch über die Refraktion dadurch zu einem in beliebig großem Raume anstellbaren Vorlesungsexperimente umschuf, daß er eine solche Klingel so lange verschob, bis sie gerade in den Weg des gebrochenen elektrischen Strahles gelangt war und nun durch einen Ton reagierte. Statt des Läutapparates kann aber auch ein Morsescher Schreibapparat als Wellenfänger dienen. Bis auf 10 km konnte bereits nach Marconis Verfahren depeschiert werden, und zwar scheint das Wasser vorteilhaftere Bedingungen als das Festland darzubieten. Anders geartet sind die Maßnahmen, welche in allerneuester Zeit Preece im Auftrage der englischen Telegraphenverwaltung getroffen hat. Eine mit Wechselstrom beschickte Induktionsspule sendet vom Aufgabeorte ihre Wellen an den Empfangsort, wo zu deren Aufnahme eine zweite, mit einem Fernsprecher verbundene Spule bereit gehalten wird. An der Küste von Wallis ließ sich so auf 8 km Entfernung telegraphieren, und auch F. Braun hat bei Cuxhaven sehr erfreuliche Erfolge erzielt. Neuerdings ersetzt den Kohärer vielfach eine Glasplatte mit durchfurchtem Staniolbelage; dann bilden sich Brücken über die Unterbrechungen, die von den elektrischen Wellen wieder abgerissen werden.

Von der Telegraphie läßt sich heutzutage die Telephonie oder Fernsprechkunst nicht mehr trennen. Dieselbe hat eine gewisse Vorgeschichte; als nämlich 1837 Ch. G. Page (1812 bis 1868) das galvanische Tönen entdeckt hatte, welches darin gipfelt, daß ein in ein Solenoid gesteckter und bald magnetisch, bald wieder unmagnetisch werdender Magnetstab Längsschwingungen ausführt, die eine akustische Nachwirkung haben, regten die in den vierziger Jahren sich rasch folgenden, von Wertheim, A. A. de la Rive und C. Matteucci (1811—1868) und noch anderen Physikern vorgenommenen Versuche den Gedanken an, diese Töne als Signale zu fruktifizieren. E. Laborde (geb. 1808), der sich zuvor mit der unlösbaren Aufgabe beschäftigt hatte, eine magnetische

Zerlegung der Luft in ihre Bestandteile Sauerstoff und Stickstoff zuwege zu bringen, und der auch sonst von chimärischen Zukunftsphantasien keineswegs frei war, trat dem Plane akustisch-elektrischer Mitteilung näher, blieb aber (1860) bei der bloßen Fortsendung von musikalischen Tönen stehen. Ein Telephon, welches gesprochene Worte durch eine Drahtleitung fortpflanzte, wurde zuerst 1860 durch Philipp Reis (1834—1874) zustande gebracht; sein dankbarer Geburtsort Gelnhausen hat ihm dafür 1885 ein Denkmal gesetzt. Die Verdienste des zeitweise ganz vergessenen, bescheidenen Mannes haben K. Th. Petersen (geb. 1836) und Silvanus Thompson der Mit- und Nachwelt ins Gedächtnis zurückgerufen. Der Tongeber des natürlich noch etwas primitiven Reisschen Apparates ist ein Holzkasten, dessen Deckel eine runde Öffnung aufweist, und diese wird von einer elastischen Membrane verschlossen. Letztere trägt in ihrer Mitte ein aufgekittetes Platinplättchen, an welches ein dünner Metallstreifen leitend angeklemmt ist, während ein kurzer Platinstift so angebracht ist, daß er beim Schwingen der gespannten Haut von der mitschwingenden Platte berührt wird. Hierdurch öffnet und schließt sich in rascher Folge der galvanische Stromkreis, der mit dem Tongeber in Verbindung steht. In das Kästchen mündet ein Schallrohr, in welches man hineinspricht, und da die Schallwellen Luft und Membran zum Oszillieren bringen, so korrespondiert Öffnung und Schluß des Stromkreises mit dem Pulsieren der Stimme. In den Schließungskreis ist nun aber auch der Tonwiedergeber eingeschaltet, ein Resonanzboden mit aufgesetzter Nadel, um die sich ein spiralig gewundener Kupferdraht herumlegt. Gesungene oder angeblasene Töne werden durch diesen Originalapparat leidlich gut wiedergegeben, Worte weit minder deutlich, weil ein eigentümliches Knarren das Gehör empfindlich beeinträchtigt. Praktisch blieb also noch viel zu wünschen übrig, und auch das zweite Modell, welches der Frankfurter Arzt Th. Clemens 1863 herstellte, und welches bereits die Magnetinduktion verwertete, blieb weiteren Kreisen so gut wie unbekannt. Auch die Stimmgabeltelegraphie von C. F. Varley (1828—1883) und van der Weyde, für die sich sogar Edison lebhaft interessierte, blieb ebenso ein Annex der

physikalischen Kabinette, wie das phonetische Rad (1875) des Dänen P. la Cour (geb. 1846) und eben desselben Vorschlag, durch eine größere Anzahl von Stimmgabeln, die sich gleichabständig in die Telegraphenleitung zwischen zwei Orten eingeschaltet finden, die Fortleitung von Klängen besorgen zu lassen, und man blieb so von einer praktischen Ausgestaltung der Telephonie noch weit entfernt. Der deutsche Generalpostmeister und Staatssekretär H. v. Stephan (1831—1897), dem es recht eigentlich zu danken ist, wenn das Deutsche Reich in der Ausbildung dieses öffentlichen Dienstzweiges die Spitze genommen hat, ließ nach amtlichen Quellen eine sehr vollständige „Geschichte und Entwicklung des elektrischen Fernsprechwesens“ (Berlin 1880) bearbeiten, die uns recht deutlich zeigt, wie schwer es oft ist, richtige Ideenverbindungen zur That werden zu lassen. Denn dieser Schrift zufolge hat Ch. Bourseilles, Unterinspektor des französischen Telegraphenwesens, schon 1854 das Wesen der elektrischen Tonübertragung mit voller Klarheit formuliert, ohne das Instrument, dessen Plan er im Geiste mit sich herumtrug, wirklich ausführen zu können.

Da schuf ganz unerwartet die Erfindung des Amerikaners A. G. Bell (geb. 1847) Wandel. Derselbe war vom Phonetiker und Taubstummenlehrer erst als dreißigjähriger Mann in die Laufbahn des Elektrikers übergetreten, und er ist es, der schon 1874 das neue Telephon erfand, wenn sich auch erst von 1877 an die Kunde von der Erfindung verbreitete; 1878 folgte dann das Photophon nach. Andere Amerikaner — E. W. Blake (geb. 1836), F. W. Clarke (geb. 1847), B. O. Peirce (geb. 1854) u. a. — mußten noch mit Bell zusammenwirken, bis endlich das Telephon die heute jedem Städter geläufige Form bekam, so daß also Dem, der den Schallvermittler an sein Ohr legt, die Stimme des Sprechenden auch nach der individuellen Klangfarbe zum Bewußtsein kommt. Bell läßt die Schallwellen eine dünne Eisenscheibe in Schwingungen versetzen, und da in der Nähe ein freier Magnetstab angebracht ist, so ist dessen Ladung eine größere oder geringere, je nachdem sich das schwingende Scheibchen in geringerer oder größerer Entfernung von ersterem befindet. Eine den Stab umgebende Drahtspule nimmt induzierte Magnetelektrizität auf, und

diese wird durch den Leitungsdraht dem Apparate des Empfangsortes zugeführt, wo sich nun der Prozeß in umgekehrter Reihenfolge abspielt. Seine wahre Kraft begann das Bellsche Telephon übrigens erst dann zu entfalten, als mit ihm das 1878 von Hughes erfundene Mikrophon, dessen schon weiter oben gedacht ward, in Verbindung trat. Das gewöhnliche Telephon erzeugt in fast dem nämlichen Momente den Strom, durch dessen Schwankungen es die Worte überträgt, und auch diese Schwankungen selber. Letztere brachte Hughes dadurch hervor, daß er variable Kontakte an Kohlenstäben einfügte. Während bei Bell sowohl der „Transmitter“ wie auch der „Recepter“ wirkliche Telephone sind, ersetzte Hughes den ersteren durch ein Mikrophon und erhöhte so die Amplitude der Stromschwankungen und damit auch die Deutlichkeit der Sprache ganz ungemein. Dagegen hat Bells System, wenn man so will, das voraus, daß es keinerlei Elektrizitätsquelle braucht, sondern sich seine Ströme durch Induktion selber erzeugt, während das Mikrophon in einen schon vorhandenen, gewöhnlich durch ein einziges Element gespeisten Strom eingeschaltet sein muß. Statt der kompakten Kohlenstäbe bedienen sich Hunnings und neuerdings Berliner vieler kleiner Kohlenstücke (aus Coks), um recht viele Kontakte zu schaffen, und diese Körnermikrophone sind zur Zeit besonders beliebt. Man hat auch im Mikrotelephon eine Einrichtung getroffen, die es erlaubt, gleichzeitig das Mikrophon vor den Mund und das eigentliche Telephon vor das Ohr zu halten. Durch sogenannte Schleifenleitung hat man jetzt auch den interoppidanen Verkehr auf eine hohe Stufe gebracht; von Newyork wird nach Chicago und umgekehrt auf eine Entfernung von 1500 km gesprochen, und auch in Deutschland beginnt man sich dem Ideale zu nähern, dessen wirklicher Erfüllung freilich das unvermeidliche Dasein des durch die Wechselströme bedingten Extrastromes sehr im Wege stehen muß. Innerhalb derselben Stadt ist jetzt schon allenthalben ein stattliches Netz von Telephondrähten gespannt.

Das oben erwähnte Photophon beruht auf der uns bekannten Thatsache, daß das Element Selen von auffallendem Lichte elektromotorisch angeregt wird. Bell und S. Tainter trafen die An-

ordnung, daß der Aufgeber einer photophonischen Depesche gegen ein biegsames Metallspiegelchen spricht, auf dem durch eine Sammellinse Licht konzentriert wird. Zurückgeworfen, lassen sich diese zentrischen Strahlen durch eine ganz gleiche Sammellinse wieder in ein Parallelstrahlenbündel umwandeln, welches am Empfangsorte von einem Hohlspiegel gesammelt wird. Im Brennpunkte befindet sich eine Selenzelle, die ebenso wie ein ans Ohr gelegtes Telephon dem Stromkreise einer Batterie angehört. Das lichtempfindliche Metall übermittelt die ihm durch die Lichtstrahlen beigebrachten Veränderungen seines elektrischen Zustandes dem Drahte, und dieser bringt das Eisenplättchen des Telephons in Schwingungen, welche der Empfänger abnimmt. An Stelle der Drahtleitung ist die Lichtleitung getreten.

Wenn wir damit unseren gedrängten Überblick über die Ausgestaltung der modernen Elektrotechnik im weiteren Sinne des Wortes abschließen, so müssen wir doch noch einen keineswegs gleichgiltigen Nachtrag folgen lassen. Derselbe bezieht sich auf die elektrischen Maßeinheiten, die seit einer Reihe von Jahren Gemeinbesitz der ganzen gebildeten Welt geworden sind, so daß jede Unsicherheit der Maßbestimmung vermieden wird. Mit den elektrischen Ausstellungen, wie solche 1881 in Paris, 1882 in München, 1883 in Wien, 1891 erwähntermaßen in Frankfurt a. M. stattgefunden, wurden auch internationale Fachkongresse verbunden, und ein solcher trat auch, unabhängig von einer Ausstellung, 1889 in Paris zusammen. Hier wurden die endgiltigen Festsetzungen getroffen, die wir kurz zu verzeichnen haben, indem wir einleitend bemerken, daß nur das Gramm, das Centimeter und die Zeitsekunde als Einheiten Verwendung finden dürfen; man nennt das (g cm sec) System das absolute, wie wir bereits im sechsten Abschnitte erfuhren, als wir Gauß' Verdienste um die Lehre vom Erdmagnetismus skizzierten. Als Dyne (von *δύναμις*, Kraft) wird die Kraft bezeichnet, welche der Masse von 1 g in 1 sec eine Beschleunigung von 1 cm einteilt. Alle konkreten Einheiten tragen die — teilweise abgekürzten — Namen der berühmten Physiker, welche die betreffende Präzisionsmessung ermöglicht oder gefördert

haben. Als elektrostatische Einheit oder Coulomb gilt die „Elektrizitätsmenge", welche auf eine ihr gleiche, 1 cm entfernte, mit einer Kraft gleich 1 Dyne wirkt. Wenden wir uns der strömenden Elektrizität zu, so ist das Ampère die Maßeinheit der Stromstärke, das Volt die Maßeinheit der Spannung (elektromotorischen Kraft nach älterer Sprechweise), das Ohm die Maßeinheit des Widerstandes, und dem diesen Namen tragenden Gesetze zufolge ist Ampère = Volt : Ohm. Will man das Ampère elektrochemisch ausdrücken, so geschieht es in der Weise, daß man sagt: Ein Strom hat die Stärke eines Ampère, wenn er pro Minute durch Elektrolyse 10,44 ccm Knallgas oder 6,96 ccm Wasserstoffgas abscheidet. Die Kapazität eines Leiters, d. h. Verhältnis der auf ihm vorhandenen Elektrizitätsmenge zu der dadurch erreichten Spannung, ist in Farad auszudrücken. Ein Strom leistet unter allen Umständen Arbeit, die allerdings auch unter der Energieform der Wärme auftreten kann; der so oder so sich offenbarende Effekt des Stromes wird als Produkt aus Spannungsdifferenz und Stromstärke aufzufassen und deshalb durch eine als Voltampère zu bezeichnende Einheit zu messen sein. In Erinnerung an den Erfinder der Dampfmaschine wird statt 1 Voltampère auch 1 Watt gesetzt; der zehnmilliontel-Teil des Watt heißt Erg (von ἔργον, Werk). Als Pferdestärke gilt eine Sekundenleistung von 75 Meterkilogrammen, und es ist demzufolge 1 Watt = 10 Millionen Sekundenerg = 0,1019 Sekundenmeterkilogramm = $^1/_{736}$ Pferdestärke. Natürlich lassen sich alle diese konventionellen Einheiten absolut ausdrücken, und zwar dadurch, daß man die drei Grundeinheiten auf bestimmte Potenzen — Dimensionen — erhebt und so unter sich, sowie gegebenenfalls noch mit einer konstanten Größe multipliziert. Eine auch nur aphoristische Darlegung des Wesens der Dimensionenlehre, die für die neuere Physik große Bedeutung erlangt hat, verbietet sich an diesem Orte, weil ohne algebraische Formeln, die wir grundsätzlich ausschließen, auch nicht einmal der Versuch einer Klärung ratsam erscheint. Den nach Belehrung Strebenden führen in sehr zweckdienlicher Weise ein zwei Werke: „Physikalische Begriffe und absolute Maße" (Leipzig 1880) von A. B. H. Herwig (1844 bis

1881) und „Lehrbuch der elektrischen und magnetischen Maßeinheiten“ (Stuttgart 1895) von L. Grunmach (Abschnitt XV).

Über die Litteratur der Elektrizitätslehre wurde schon im Texte an verschiedenen Stellen die jeweils gerade wünschenswert erscheinende Auskunft gegeben. Einen vorzüglichen Handweiser, um ohne tiefere mathematische Kenntnis die Natur der durch die Namen Faraday, Maxwell, W. Thomson, Boltzmann, Hertz gekennzeichneten Umwälzung der Prinzipien und Anschauungen verstehen zu lernen, bietet eine Schrift von F. Rosenberger („Die moderne Entwicklung der elektrischen Prinzipien“, Leipzig 1898). Als eine historische Quellenarbeit großen Stiles ist ein von E. Hoppe (geb. 1854) verfaßtes Werk („Geschichte der Elektrizität“, Leipzig 1884) zu nennen, aber auch ein kleineres Kompendium von Albrecht („Geschichte der Elektrizität mit Berücksichtigung ihrer Anwendungen“, Wien-Pest-Leipzig 1885) ist in seiner Art empfehlenswert, und dasjenige, welches E. Netoliczka (1825—1889) bald darauf lieferte („Illustrierte Geschichte der Elektrizität von den ältesten Zeiten bis auf unsere Tage“, Wien 1886), ist dem Forscher wegen reichhaltiger litterarischer Nachweise schätzbar. Was die Elektrotechnik angeht, so ist auf die schon zu einer stattlichen Anzahl von Bändchen angewachsene Bibliothek des neuen Faches von der Firma Hartleben (Wien) aufmerksam zu machen, an deren Herausgabe sich insbesondere A. v. Urbanitzky beteiligt hat; wer ohne allzu großen Zeitaufwand den besten Überblick gewinnen will, möge L. Graetz („Die Elektrizität und ihre Anwendungen“, achte Auflage, Stuttgart 1900) zur Hand nehmen, und gedenkt er Vergleiche zwischen einst und jetzt anzustellen, so ist K. Kuhns (1816 bis 1869) Werk („Handbuch der angewandten Elektrizitätslehre“, Leipzig 1866) sehr geeignet, das Ziehen der Parallele zu erleichtern. Ein großes Unternehmen scheint das im ersten Bande bereits realisierte „Handbuch der Elektrotechnik“ werden zu wollen, welches im Verlage der S. Hirzelschen Buchhandlung zu Leipzig erscheint und von K. Heinke, in Verbindung mit gewiegten Praktikern und Männern der Wissenschaft — H. Ebert, J. Kollert, J. Teichmüller u.s.w. — herausgegeben wird. Auch periodische Organe stehen dem modernen Elektroingenieur, wie sich jetzt durchweg der

Lehrplan der polytechnischen Schulen ausdrückt, in Fülle zu Gebote. Unter vielen können wir die „Elektrotechnische Zeitschrift“, die von Carl begründete und nachmals von F. Uppenborn redigierte „Zeitschrift für angewandte Elektrizitätslehre“, endlich die „Zeitschrift für Elektrotechnik und Elektrochemie“ namhaft machen; in Italien erfreut sich L'Elettricità eines sehr guten Rufes. Nicht bloß der Beleuchtungstechnik, sondern auch anderen Zweigen des gigantisch angewachsenen Wissensgebietes diente längere Zeit das Journal „La lumière électrique“, wenn auch sein Herausgeber, Cornelius Herz, sich durch seine Gebarung in einer damit nicht zusammenhängenden Angelegenheit minder vorteilhaft bekannt gemacht hatte. Im Ganzen wird ungescheut behauptet werden dürfen, daß es zur Zeit nur noch wenige Physiker geben wird, die sich in der Entwicklung der elektrischen Maschinenkunde auf dem Laufenden erhalten haben und erhalten können. Das ausgezeichnete Handbuch E. Kittlers (zweite Auflage des ersten Bandes, Stuttgart 1892), vor einem Jahrzehnt in jeder Hinsicht ein „Standard Work“, kann in einzelnen Fragen schon nach so kurzer Frist dem Bedürfnisse nicht mehr voll genügen. Wertvoll ist für Einzelfragen E. Voits „Sammlung elektrotechnischer Vorträge“.

Siebzehntes Kapitel.

Moderne Grenzgebiete der Physik.

Wenn man will, kann man sich schon auf Grund der Worte, welche den vorigen Abschnitt abschlossen, berechtigt fühlen, auch die Elektrotechnik als ein selbständiges Grenzgebiet von der eigentlichen Physik abzutrennen. Dasselbe wird jedoch dann auch, und zwar nicht aus einem eigentlich sachlichen, sondern lediglich aus dem zwingenden äußeren Grunde der Unübersehbarkeit des Arbeitsfeldes, seinen autonomen Charakter bewahren jener technischen Physik gegenüber, welche sich neuerdings, unter den Auspizien F. Kleins, an den technischen Hochschulen, und nicht minder sogar an den Universitäten, als eigenes Lehrfach einzubürgern anschickt und vor allem die angewandte Thermodynamik für sich in Anspruch nimmt. Soweit die uns gestellte Aufgabe es als gerechtfertigt erscheinen lassen kann, ist dieser jungen Disziplin bereits in den beiden vorhergehenden Disziplinen Rechnung zu tragen versucht worden. Dagegen erheischen andere Grenzgebiete eine besondere Berücksichtigung, zumal dann, wenn es nicht möglich ist, ihnen, wie etwa der Physik der Erde im sechsten und zweiundzwanzigsten Abschnitte, ein wesentlich darauf konzentriertes Kapitel einzuräumen. Diejenigen Spezialwissenschaften, welche wir zunächst im Auge haben, sind die medizinische Physik im engeren Sinne, die Hygiene, soweit sie einen spezifisch physikalisch-chemischen Anstrich trägt, die Psychophysik und die neuere Agrikulturphysik. Gewiß liegt die Vermutung nahe, daß auch die dieser Sammlung angehörende Geschichte der Naturwissenschaft der Organismen auf diese Probleme ihre Streiflichter fallen lassen wird,

allein das kann und darf uns nicht abhalten, den physikalischen Standpunkt als einen gleichberechtigten scharf zu betonen, und dem ferner stehenden Leser kann es nur erwünscht sein, die gleichen Gegenstände unter zwei verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet zu sehen.

Über die intimen Beziehungen zwischen Heilkunde und Naturlehre war man so wenig im Unklaren, daß sich im 17. und 18. Jahrhundert die Sekten der Iatromathematiker, Iatrochemiker, Iatromechaniker bilden konnten, die einen nicht zu unterschätzenden Einfluß auf die Entwicklung der medizinischen Anschauungen ausgeübt haben. Darf man doch sogar Boerhave, den ohne Frage bedeutendsten Arzt seines Zeitalters, dieser Richtung zurechnen, als deren Programmwerk A. Morasch' „Philosophia atomistica" (Ingolstadt 1727) betrachtet werden kann. Daß der junge Mediziner einen physikalisch-chemischen Vorkurs absolviert haben müsse, ehe man ihn zum fachwissenschaftlichen Studium im engeren Sinne zulassen darf, war schon fast seit Beginn des 19. Jahrhunderts eine feststehende Thatsache. Allein von da war noch immer ein ziemlich weiter Weg zur Ausbildung einer eigenen medizinischen Physik. Das Bedürfnis, auch eine solche zur Verfügung zu haben, ein Bedürfnis, welches sich beispielsweise in dem äußeren Umstande zu erkennen giebt, daß verschiedene Universitäten, wie Berlin und Bonn, Berufsphysiker in ihren medizinischen Fakultäten als Professoren bestellt haben, wurde zuerst in Deutschland richtig erkannt, und zwei unserer bedeutendsten Physiologen, die allerdings auch sonst den Kontakt mit Philosophie und Naturwissenschaft aufs engste wahrten, so daß der zweite von ihnen schließlich ganz zum Philosophen wurde, haben uns die ersten Werke über den neuen Wissenszweig geschenkt. Dies sind „Die medizinische Physik" (Braunschweig 1858; 1884 zum dritten Male aufgelegt) von A. E. Fick (geb. 1829) und das „Handbuch der medizinischen Physik" (Leipzig 1867) von W. Wundt (geb. 1832).

Konstruieren wir uns den Inhalt und das Wesen des neuen Wissenszweiges auf Grund des Programmes, welches das ältere dieser beiden Werke sich vorgesetzt und zu einer den damaligen Verhältnissen entsprechenden Erledigung gebracht hat, so sehen wir,

daß, von einer allgemeinen Einleitung über Atomistik abgesehen, die Gesetze der Diffusion und Osmose, welche Fick selbst (1855) auf die physiologischen Grundprobleme als einer der ersten angewendet hat, an vorderster Stelle stehen. In der That ist das Verhalten der tierischen Gewebe gegen Flüssigkeiten von der allerhöchsten Wichtigkeit für unser physisches Leben, allein die in Betracht kommenden Thatsachen sind fast durchweg aus der allgemeinen Physik bekannt. Weiterhin werden die Kinematik der Gelenkbewegungen und die Muskelstatik diskutiert, für welch letztere die aus dem achten Abschnitte erinnerlichen Untersuchungen der Gebrüder Weber über die Modalitäten des Gehens herangezogen werden. Der Gedanke, Poinsots Drehungstheorie auf die Bewegung zweier in der Gelenkkapsel sich bewegender Teile von Rotationsflächen zu übertragen, war das geistige Eigentum Ficks. In späterer Zeit hat diese Gruppe von Studien einen gewaltigen Anstoß empfangen durch eine wichtige Entdeckung G. H. v. Meyers (1815—1892). Mit seinem Kollegen Culmann (Abschnitt XV) in steter Fühlung stehend, prüfte der Züricher Anatom die Art und Weise, wie im Skelette die einzelnen Stücke ineinander gefügt sind, und sah sich so in den Stand gesetzt, in einer Schrift, die freilich für den Durchschnittsmediziner eine etwas zu große Vertrautheit mit den exakten Hilfswissenschaften voraussetzt („Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüstes", Leipzig 1873), den Nachweis zu führen, daß dieselben Konstruktionen, die in der graphischen Statik die Gleichgewichtsbedingungen irgend eines Systemes starrer Körper zu fixieren gestatten, auch für die Art und Weise Giltigkeit behaupten, wie die Knochen unseres Körpers gebaut sind. In allerneuester Zeit ist von W. Roux in Halle a. S. und J. Wolff in Berlin die Thatsache, daß sich in jedem Knochen das Doppelsystem der Kurven gleichen Druckes und gleichen Zuges nachweisen läßt, in noch ausgedehnterem Maße für Anatomie, Chirurgie und Entwicklungslehre fruchtbar gemacht worden. Größtmögliche Stabilität bei einem Maximum freier Bewegung, bei einem Minimum von Zwangsläufigkeit, ist der Hülle des Menschen, und auch des Wirbeltieres, gewährleistet. Fick geht zur strömenden und oszillatorischen Flüssigkeits-

bewegung in festen und elastischen Röhren über und gewinnt damit Anhaltspunkte zur Beurteilung der Arbeit, welche das große Pumpwerk unseres Organismus, das Herz, unter verschiedenen Umständen zu leisten hat. Verschiedene Apparate hat die unermüdete Schaffenskraft der experimentellen Physiologie späterhin den Experimentatoren zur Verfügung gestellt, um die einschlägigen Fragen einer genaueren Prüfung unterwerfen zu können: genannt müssen speziell werden der Kymograph und der Sphygmograph, dieser eine Erfindung von K. F. W. Ludwig (1816—1895), jener von K. v. Vierordt. Neben beiden verdienstvollen Forschern ist besonders A. W. Volkmann (1800—1877) als einer von Denen zu zitieren, die den Blutdruck zum Gegenstande eingehender Experimente gemacht haben, wie seine hierher gehörige Monographie über Hämodynamik (1850) beweist. Die Gleichungen der vom Pulswellenzeichner aufgeschriebenen Kurven hat für v. Vierordt der berühmte Thermodynamiker J. F. Redtenbacher (1809—1863) abgeleitet. Die physiologische Basis der Akustik spielt natürlich ebenfalls eine Rolle; gestreift haben wir diese grundlegenden Fragen, mit deren Klärung der Name Helmholtz unlöslich verknüpft ist, bereits bei früherer Gelegenheit.

Die Wärmelehre ist am Aufbau der medizinischen Physik vorwiegend mit den neueren Arbeiten über Verbrennungswärme beteiligt, zu deren Erforschung Lavoisier die ersten Beiträge geliefert hatte; was Favre und Silbermann auf diesem Gebiete leisteten, hat in der Geschichte der Chemie Erwähnung gefunden. Auch Helmholtz, G. G. Valentin (1810—1883) und L. D. J. Gavarret (1809—1890) haben hierüber gearbeitet; von Gavarret liegt der erste Versuch vor, diese physikalisch-chemischen Studien in ein System zu bringen („La chaleur produite par les êtres vivants“, Paris 1855). Die Lehre vom Lichte, soweit sie zur Medizin Beziehungen unterhält, fand eine mustergiltige, an originalen Errungenschaften reiche Darstellung in Helmholtz' großem Werke („Physiologische Optik“, Leipzig 1867, 2. Auflage 1886). Er und J. B. Listing (1808—1882) haben die charakteristischen Haupt-, Knoten- und Brennpunkte für das normale Auge bestimmt und die gestaltlichen Beziehungen der als Horopter bekannten

Fläche ermittelt, auf welcher alle einfach gesehenen Punkte liegen; eine gründliche Betrachtung der einschlägigen mathematischen Verhältnisse hat denselben auch H. Hankel (Abschnitt III) gewidmet. Es ist so ein ganz unabhängiger Wissenszweig von namhafter Ausdehnung und hoher innerer Unabhängigkeit entsprossen, dessen Wachstum erst dann recht ins Auge fällt, wenn man sich erinnert, daß erst zu Beginn des 17. Jahrhunderts F. Plater, Chr. Scheiner und J. Kepler das Wesen des Sehprozesses richtiger aufzufassen begonnen hatten. Helmholtz und A. Cramer haben im Jahre 1851 zuerst einiges Licht über den so wichtigen und in seinen Störungen für viele Augenkrankheiten die Ursache abgebenden Vorgang der Akkomodation verbreitet und dargethan, daß sich beim gesunden Menschen die Krümmungsradien der vorderen und hinteren Linsenoberfläche verändern, so daß eine genaue Einstellung auf das entfernte Blickziel erfolgen kann, während der Augenleidende diese Wölbung nicht zu regulieren befähigt ist. Die sorgfältigsten Untersuchungen über die vielgestaltigen Bewegungserscheinungen, die bei der Akkomodation zusammenwirken, lieferte von 1845 an Brücke, der auch die von Goethe für so wichtig erachteten Farben trüber Mittel ursächlich erklärte. Auch die Irradiation hat in Plateau und H. Welcker (geb. 1822) Vertreter sehr abweichender Ansichten gefunden, indem der belgische Physiker wesentlich für eine physiologische, der deutsche Anthropologe hingegen für eine rein physikalische Deutung des Phänomenes plaidierte, welches sich in scheinbarer Vergrößerung heller Gegenstände auf dunklem Hintergrunde offenbart; bekannt ist z. B. das scheinbare Übergreifen der Mondessichel.

Mit dem Studium der entoptischen, d. h. auf das Innere des Auges selbst bezüglichen Erscheinungen wurde ein erfreulicher Anfang gemacht durch J. E. v. Purkinje (1787—1869), der auf der Hornhaut die seinen Namen tragende Aderfigur entdeckte. Mit Hilfe derselben ließ sich, wie der Würzburger Physiologe H. Müller zeigen konnte, rechnerisch ein Schluß auf die Lage der eigentlich lichtempfindlichen Schicht in der Netzhaut ziehen. Die Farbenlehre, insoweit sie der physiologischen Optik angehört,

hat darin zunächst einen Fortschritt gemacht, daß man eine tiefere Einsicht in das Wesen der Komplementärfarben erhielt; an den bezüglichen Forschungen nahmen hauptsächlich teil H. G. Graßmann, Helmholtz und M. E. Chevreul, dessen Werk namentlich die technischen Anwendungen ins Auge faßte. Dasselbe („Des couleurs et de leurs applications aux arts à l'aide des cercles chromatiques", Paris 1864) war für die Kunstfärberei sehr wichtig, und diese, sowie auch die Lehre von den gefärbten Gläsern hat der berühmte französische Chemiker auch sonst zu Objekten seiner Forschung sich ausersehen. Helmholtz wurde durch seine Analyse des Spektrums der Thatsache inne, daß nicht notwendig jeder einzelne Farbenton seinen komplementären Ton haben muß, wie denn z. B. keine Farbe ausreicht, um Grün zur Indifferenzfarbe Weiß zu ergänzen. Man muß Rot und Violett zu sogenanntem Purpur mischen, um diese Ergänzung herbeizuführen. Die Helmholtzsche Lehre von den Mischfarben haben W. J. Grailich (Abschnitt VIII), Th. W. Preyer (1841—1897) und Lommel theoretisch tiefer zu begründen gesucht. Über die Art und Weise, wie sich die Farbenempfindung dem Zentralorgane mitteilt, läßt sich nur hypothetisch urteilen; indessen hat immerhin eine in der zweiten Hälfte der siebziger Jahre gemachte Entdeckung den Prozeß des Sehens etwas tiefer zu erfassen erlaubt. Es fanden nämlich so gut wie gleichzeitig (1877) F. Boll (1849—1879) in Rom und W. Kühne (1837—1900) in Heidelberg das Sehrot (auch Sehpurpur genannt) auf, eine sich durch die ganze Netzhaut hindurchziehende, schwach rötliche Substanz, die vom Lichte, je nach dessen verschiedenen physikalischen Qualitäten, chemisch zersetzt wird, so daß also auch der von der Retina zum Gehirne führende Nervenstrang eine verschiedenartige Beeinflussung erfährt. Recht eigentlich in die psychologische Nachbarwissenschaft, die wir hier berührten, reicht auch hinein die Lehre vom binokularen Sehen, welche trotz der Anstrengungen eines Donders, Volkmann, E. Hering (geb. 1834) noch keineswegs als abgeschlossen angesehen werden kann. Aus seinen oben erwähnten Untersuchungen über Mischfarben leitete Helmholtz die Berechtigung her, sämtliche Farbennuancen auf drei Grundfarben zurückzuführen, und bei der im

vorigen Abschnitte erörterten Naturfarbenphotographie hat die Helmholtzsche Theorie insofern eine Bekräftigung erfahren, als ja diese Technik auch mit drei Grundtönen trotz der ungeheuren Abwechselung der natürlichen Farben und Pigmente das Auge zu befriedigen versteht. Einen teilweise, jedoch weniger bezüglich der Grundanschauung, abweichenden Standpunkt hat Hering („Zur Lehre vom Lichtsinne", Wien 1878) vertreten.

Bekanntermaßen ist die Fähigkeit, Farben als solche zu erkennen, der Farbensinn, durchaus keine allgemein verbreitete, vielmehr giebt es viele Menschen — weit mehr, als man gemeiniglich glaubt —, die in dieser Beziehung mangelhaft ausgestattet sind. Vom Daltonismus war bereits die Rede, aber es giebt auch andere Erscheinungsformen dieses Gebrechens, welches wohl in einer gewissen Trägheit oder sonstigen Mangelhaftigkeit der Netzhaut seine Ursache haben dürfte. Die gesteigerten Anforderungen, welche die Neuzeit an die Diener des Gemeinwesens stellt, haben gezeigt, wie viele Leute zwischen Rot und Grün, Blau und Gelb keinen Unterschied zu machen vermögen, und da im Eisenbahnwesen, wie auch bei anderen Gelegenheiten, die Wahrnehmung farbiger Signale unumgänglich ist, so mußten Mittel gefunden werden, solche Leute, die zwar thatsächlich farbenblind sind, ihren Defekt aber durch eine gewisse Übung zu verdecken gelernt haben, zu überführen. Die Farbentafeln von Jung-Stilling und Patek leisten hierzu gute Dienste; noch mehr jedoch empfehlen sich die von dem schwedischen Physiologen A. F. Holmgren (geb. 1831) vorgeschlagenen Farbenstränge („Om färgblindheten", Upsala 1877; ins Deutsche übersetzt von Magnus). Ein Behälter ist gefüllt mit Wollgarnsträngen der verschiedensten Färbung, aus denen der zu Prüfende eine bestimmte herauszusuchen hat, und da leiden denn auch oft solche Kandidaten noch Schiffbruch, welche die anderen Grade des Examens bestanden haben. Die Frage nach der Verbreitung des richtigen Farbensinnes ist auch nach der ethnologischen Seite hin umfassend bearbeitet worden, und es hat sich da gefunden, daß eine gewisse Gleichgiltigkeit gegen die Farbenempfindung bei vielen Naturvölkern angetroffen wird. Gestützt auf die unleugbare Thatsache, daß in sehr weit zurück-

liegenden Schriften, wie im Alten Testamente und in den Homers Namen tragenden altjonischen Gedichtsammlungen, die Farbennomenklatur von der uns geläufigen gar nicht selten abweicht, stellte der als Homerforscher bekannte, große Staatsmann W. E. Gladstone (1809—1898) die Vermutung auf, vor zweitausend Jahren sei das Farbengefühl der Menschen überhaupt noch ein weniger fein ausgebildetes gewesen, und erst im Laufe der Jahrhunderte habe, gemäß den von der Deszendenzlehre für die organische Welt festgestellten Entwicklungsgesetzen, eine langsam fortschreitende Differentiierung der Farbenempfindungen stattgefunden. In zahlreichen Veröffentlichungen hat der Breslauer Ophthalmologe H. Magnus, der auch Gladstones Schrift deutsch bearbeitete, die Entwicklungstheorie mit neuen Argumenten auszustatten gesucht, und auch andere sind ihm zur Seite getreten, während gerade im eigentlich darwinistischen Lager die gegnerischen Stimmen überwogen.

Wenn wir uns weiter an die Einteilung des Fickschen Werkes halten, so gelangen wir zur Lehre von der Elektrizität in der Medizin. Hier durchdringen sich ersichtlich zwei verschiedene Materien; einerseits wird gefragt, wie sich, je nach den Umständen, der galvanische Strom, sei es der kontinuierliche oder der durch Induktion erzeugte intermittierende, für die Heilung der verschiedensten Körperschäden und nervösen Zustände nutzbar machen läßt, und andererseits steht die tierische Elektrizität als solche zur Diskussion. Den ersterwähnten Gegenstand hier weiter zu verfolgen, ist nicht unsere Sache; den Ärzten hat W. v. Beetz durch eine sich eigens an ihre Adresse richtende Schrift („Grundzüge der Elektrizitätslehre“, Stuttgart 1878) die wünschenswerten Vorkenntnisse bequem zugänglich gemacht, und für die Therapie ist bestimmend gewesen das von dem berühmten Kliniker W. H. v. Ziemßen (geb. 1829) herausgegebene Lehrbuch („Die Elektrizität in der Medizin“, 5. Auflage, Berlin 1887). Wenn wir nach den älteren Vorstellungen über elektrische Ströme im tierischen Körper fragen, so sehen wir uns zurückversetzt in das Jugendzeitalter des Galvanismus, denn damals drehte sich ja ein eifrig geführter Streit um die Alternative: Hat Galvani recht,

wenn er das Dasein primärer Ströme im Organismus behauptet, oder hat Volta recht, der die tierischen Zuckungen bloß als Folgephänomen der durch den Metallkontakt ausgelösten Strömung betrachtet? Man weiß, daß die gelehrte Welt sich entschieden im letzteren Sinne aussprach, und daß A. v. Humboldt wenig gehört wurde, als er sich in seinem physiologischen Werke von 1799 (Abschnitt IV) gegen eine vollständige Verwerfung der Ansichten Galvanis einsetzte. Erst späte Gerechtigkeit ist dieser lange verkannten Jugendarbeit widerfahren, und Wundt durfte seine Ehrenrettung in die nachstehend mitgeteilten Worte kleiden: „In diesem, auf eine Vereinfachung des Beobachtungsverfahrens abzielenden Sinne hat A. v. Humboldt jene Versuche ausgeführt, welche uns heute noch, in wenig veränderter Form, als entscheidende Beweismittel einer elektrischen Ungleichheit der tierischen Teile gelten." Der Mann, der später den entscheidenden Nachweis führte, daß diese Ungleichheit elektrische Ströme im Körper zur notwendigen Folge haben muß, war E. Du Bois Reymond, und die zahlreichen Aufsätze, in denen er diesen Teil der organischen Physik begründete („Gesammelte Abhandlungen zur allgemeinen Muskel- und Nervenphysik", Leipzig 1875) werden für alle Zeiten die Unterlage für eine noch tiefer eindringende Forschung abgeben. Der Berliner Physiologe sprach das entscheidende Wort: Der Strom kommt dann zu stande, wenn sich Muskelquerschnitt und Nerv berühren. Wenn dann im Nerv ein konstanter elektrischer Strom zirkuliert, wird sein Spannungszustand verändert; der Nerv ist in den elektrotonischen Zustand versetzt, und der infolge dieses Zustandes erzeugte Strom kann den ursprünglichen Nervenstrom an Intensität übertreffen. Einige Beobachtungen, die der uns aus dem zweiten Abschnitte in geteilter Erinnerung stehende J. W. Ritter über solche biologische Strömungserscheinungen gemacht hatte, wurden von Du Bois Reymond als richtig befunden, und es ist ja überhaupt Ritters Art, daß sich bei ihm zutreffende Erfahrungen und mit diesen verquickte naturphilosophische Träumereien stetig durchdringen.

Eine ganz neue Anwendung vereinigter Optik und Elektrizitätslehre mit Schweigen zu übergehen, ist auch Dem nicht erlaubt, dem

die Historie der anorganischen Naturwissenschaft obliegt. Wir meinen die Radioskopie, die Anwendung der Röntgenstrahlen auf die Sichtbarmachung des menschlichen Knochengerüstes im Dienste der Chirurgie. Auch dem Fernerstehenden ist die hohe Bedeutung dieses Mittels, mit dem Auge Dinge zu erkennen, deren Ermittlung vor kurzem noch Sache einer scharfsinnigen und doch zweifelhaften Diagnostik war, überraschend klar gemacht worden durch den Vortrag, welchen der berühmte Berliner Chirurg E. v. Bergmann (geb. 1836) vor dem Plenum der Münchener Naturforscherversammlung (1899) hielt. Man kann daraufhin sagen, daß in der ersten freudigen Aufwallung über einen so gewaltigen Erkenntnisfortschritt wohl ab und zu allzu viel von den X-Strahlen verlangt ward, und daß vielmehr das Bereich, innerhalb dessen dieselben ihre Kraft entfalten können, ein ganz bestimmt umschriebenes ist. In diesem Rahmen jedoch sind ihre Leistungen großartige, und so wie kein Krankenhaus heute mehr eines nach allen Regeln der Technik eingerichteten radioskopischen Beobachtungsraumes entbehren darf, wenn es auf der Höhe stehen will, so werden jetzt auch schon unseren Kriegsheeren bequem aptierte Apparate dieser Art in das Feld mitgegeben, um zumal den Sitz von Kugeln im Fleische und die Art der Zerreißungen und Frakturen mit einer Schärfe feststellen zu können, die vor wenigen Jahren noch als unmöglich gegolten hätte.

Es braucht kaum darauf aufmerksam gemacht zu werden, daß zwischen den Anwendungen der Physik auf die sicht- und greifbaren Vorgänge im organischen Körper und denjenigen, die in der Psychophysik eine Rolle spielen, zahlreiche Fäden hin- und herlaufen. Gelegentliche Angaben, die sich psychophysikalisch interpretieren lassen, findet man selbstverständlich in der ganzen Litteratur verstreut, allein erst durch das die Sonderung der vorliegenden Einzelthatsachen bewirkende Werk G. Th. Fechners („Elemente der Psychophysik", Leipzig 1860; 3. Auflage 1889) wurde, zugleich mit dem neuen Namen, eine Begriffsbestimmung des jungen Wissenszweiges ermöglicht, und man konnte demselben an der Grenzscheide zwischen Physik und Psychologie die ihm gebührende Stellung anweisen. Man hat sich nicht bei Fechners Festsetzungen,

denen aber unter allen Umständen ihr hoher hodegetischer Wert nicht abgestritten werden kann, beruhigt, sondern es sind insbesondere von P. Langer („Die Grundlagen der Psychophysik", Jena 1876) und von G. E. Müller („Zur Grundlegung der Psychophysik, Berlin 1878) ernsthafte Vervollkommnungsversuche zu verzeichnen. Die neueste Zusammenfassung der einschlägigen Arbeiten ist, allerdings unter einem allgemeineren Gesichtspunkte, geleistet worden von W. Wundt, dessen Werk („Grundzüge der physiologischen Psychologie", Leipzig 1893) die Objektivität seines Autors auch durch eine gerechte Beurteilung der in ihren Endresultaten natürlich verunglückten „mathematischen Psychologie" Herbarts (Abschnitt II) bekundet. Wundt giebt hier von der Psychophysik, als einem Teile der experimentellen Psychologie, folgende Definition: „Als eine exakte Wissenschaft von den Beziehungen zwischen Leib und Seele sucht sie teils die Gesetze festzustellen, denen die Sinnesempfindungen in ihrem Verhältnisse zu den ihnen entsprechenden äußeren Sinnesreizen unterworfen sind, teils sonstige Wechselbeziehungen zwischen physischem und psychischem Leben auf experimentellem Wege zu erforschen." Der Leipziger Gelehrte faßt die Aufgabe, die er der rationell ergründenden Psychologie auferlegt, äußerst scharf und wehrt sich gegen die von mancher Seite in den Vordergrund geschobenen irrationellen Untersuchungsmittel der Suggestion und des Hypnotismus, worin er krankhafte, der strengen Erforschung unzugängliche Zustände erblickt, deren Pflege bislang noch von keinem wissenschaftlichen Gewinne begleitet gewesen sei. Ganz ähnlich hatte er es schon 1879 in seinem Sendschreiben an den Philosophen H. Ulrici (1806—1884) abgelehnt, irgendwelche Schlüsse aus dem Spiele mit der angeblichen vierten Dimension zu ziehen, in welches sich der harmlos vertrauende Physiker Zoellner unter der Leitung des genialen spiritistischen Schwindlers H. Slade eingelassen hatte, und welches durch den Berliner Physiologen A. Christiani (1843—1887) als kunstvolle Taschenspielerei stigmatisiert worden ist.

Die erste der beiden Abteilungen, in welche Wundt die Psychophysik zerlegt, steht und fällt mit dem sogenannten Weberschen

Gesetze. Von dem Leipziger Anatomen E. H. Weber, der uns seiner Zeit als Mitarbeiter seines Bruders Wilhelm bei der Abfassung der „Wellenlehre" begegnet ist, erschien 1852 in den Berichten der k. sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften eine bahnbrechende Untersuchung („Über den Raumsinn und die Empfindungsweise in der Haut und im Auge"), deren Endzweck es war, eine Theorie der Reize aufzustellen. Das erwähnte Gesetz gestattet die folgende Fassung: Wirken mehrere Reize folgeweise, so müssen, damit deren Abstufungen als gleich empfunden werden sollen, die Differenzen je zweier konsekutiver Reize proportional den Absolutwerten der Reize selbst wachsen. Über die dem Reize sich anschließende Empfindung ist damit zunächst noch keine endgiltige Aussage gemacht; diese Ausgestaltung des Weberschen Gesetzes liefert vielmehr erst das Fechnersche Gesetz, welches besagt: Die Empfindung ist proportional dem Logarithmus des Reizes minus dem Logarithmus desjenigen Reizes, welcher noch eben fähig ist, sich bemerklich zu machen. Eben diese letztere Größe quantitativ zutreffend abzuschätzen, ist nun freilich eine überaus schwierige Sache, wenigstens auf dem von Weber selbst eingeschlagenen Wege, und es hat daher v. Vierordt die Betretung eines anderen angeraten, der durch die Bezeichnung Methode der richtigen und der falschen Fälle gekennzeichnet erscheint. Den Fechnerschen Ausdruck hat Langer etwas umgeändert, so daß die Relation zwischen Ursache und Wirkung jetzt in diese Form gekleidet werden kann: Die Empfindung wächst mit der Stärke des Reizes bis ins Unbegrenzte und fällt auch mit dieser, hier jedoch mit der Einschränkung, daß die Empfindung dann schon Null wird, wenn der Reiz am sogenannten Schwellenwerte — einem Residuum der Herbartschen Psychologie — angelangt ist. Die vielfältigen Prüfungen, welche Helmholtz, H. R. Aubert (1826 bis 1892), J. R. L. Delboeuf (geb. 1831), J. J. Müller (1846 bis 1875) und in neuester Zeit namentlich J. Bernstein (geb. 1839) an dem Weber-Fechnerschen Gesetze vorgenommen haben, nötigen uns nun zwar die Überzeugung auf, daß die unendliche Vielfältigkeit der Möglichkeiten, wie unser Empfindungsvermögen

von außen her beeinflußt werden kann, durch eine mathematische Formel von ziemlicher Einfachheit nicht völlig gedeckt werden kann, aber trotzdem sichert auch die neueste Revision von Wundt dem Gesetze eine approximative Giltigkeit. Und in diesem Sinne besteht unser obiger Satz von der Bedingtheit dieser Seite psychophysischer Forschung durch das Weber-Fechnersche Eindeutigkeitsgesetz seine Probe.

Wer sich mit den vielleicht unerwartet zahlreichen Einzelarbeiten, die nach dieser Richtung hin unternommen worden sind, bekannt machen und überhaupt in das Getriebe der zeitgenössischen Bewegung auf experimentell-psychologischem Gebiete einen tieferen Einblick thun will, thut wohl daran, die Zeitschrift „Philosophische Studien" zur Richtschnur zu nehmen, welche seit 1878 unter Wundts Redaktion erscheint. Der Begriff Philosophie scheint da freilich, wenn man auf jene philosophischen Bestrebungen zurückgreift, die uns unser dritter Abschnitt vor Augen führte, eine Wandlung erfahren zu haben, wie man sie in ähnlichem Umfange in der Geschichte der Wissenschaft sonst nicht leicht wiederfindet. Damals galt als wahrer Philosoph, wer die Natur a priori aufbaute und als Naturgesetz Das proklamierte, was ihm aus den vermeintlichen Gesetzen des menschlichen Denkens als notwendig hervorzugehen schien; heute will die Wundtsche Schule durch stetiges, mühseliges Sammeln und Vergleichen von Erfahrungen langsam der Natur, sogar auch derjenigen des menschlichen Geistes, ihre Geheimnisse ablauschen. Und von sehr wenigen Gegnern einer nicht willkürlich geschaffenen, sondern organisch gewordenen Umschaffung des Begriffes abgesehen, billigt jedermann diese letztere, durch welche die Philosophie, seit dem Hegel-Schellingschen Interregnum, wie wir uns ausdrückten, der Naturwissenschaft entfremdet, die Verbindung mit dieser zurückgewonnen hat. Wenn man die Untersuchungen von Wundt selbst über die messende Fixierung psychischer Vorgänge, von J. Kollert über den Zeitsinn, von E. Tischler über die — sonometrisch wichtige — Untersuchung von Schallstärken, von E. Kraepelin über die Grenzen der Herrschaft des Weberschen Gesetzes bei Lichtempfindungen u. s. w. durchmustert, so kann man sich eine Vorstellung von den mancherlei

Gebieten machen, die dereinst den Tummelplatz vager Spekulation bildeten und heute exakter Beobachtung, Messung und Rechnung unterthan sind. Einen Lieblingsgegenstand psychophysischer Forschung macht auch die immer genauere Lösung der Aufgabe aus, zu bestimmen, wie lange es dauert, bis gewisse Sinneseindrücke zum Gehirne fortgeleitet werden, und bis der dadurch ausgelöste Befehl an die Glieder diese erreicht. Daß diese Zeiten außerordentlich minimale sind, leuchtet an sich ein; daß sie aber doch meß- und vergleichbar sind, erfahen wir in der Geschichte der Astronomie anläßlich der sogenannten persönlichen Gleichung, mit der sich in allerjüngster Zeit Alechsejew an der Hand neuer Präzisionsmethoden beschäftigt hat. Inauguriert wurde diese Kategorie von Forschungen von Helmholtz, als er, nachdem zuvor über die Fortpflanzung von Reizen in den motorischen Nerven einige Anhaltspunkte erhalten waren, 1871 die Zeit ermittelte, die verfließt, bis ein Gesichtseindruck vom Bewußtsein als solcher empfunden wird. Hierüber haben spätere psychologische Experimente von Th. Lipps (geb. 1851) wertvolle Aufklärung geliefert, wiewohl natürlich noch ein weiter Spielraum für künftige Bethätigung exakt-philosophischen Strebens eröffnet bleibt. Erwähnt sei, daß ein übersichtlicher Leitfaden von G. F. Lipps („Grundriß der Psychophysik", Leipzig 1899) Freunden der Sache eine bequeme Orientierung verstattet.

Um noch an einem konkreten Falle der Operationsmethoden der Psychophysik zu gedenken, weisen wir auf die auch für die Physik indirekt bedeutungsvolle Lehre von der Raumanschauung hin, deren psychologischen Untergrund K. Stumpf (1873) und Th. Lipps (1891—1897), letzterer auch mit besonderer Berücksichtigung der Rolle des gelben Fleckes im Auge, in einem Geiste geprüft haben, der auch in der kritischen Periode Kants noch keinen Vorgänger hatte. Von Stumpf („Tonpsychologie", Leipzig 1883—1890) rührt, beiläufig bemerkt, auch die erste, in großem Stile gehaltene, psychophysische Bearbeitung der Akustik (Abschnitt XV) her. Der so erreichte höhere und universellere Standpunkt befähigte denn auch dazu, die auffälligen geometrischen Gesichtstäuschungen, deren systematisches Studium zuerst (1854) J. J. Oppel (1815

bis 1894) in die Hand nahm, und die außerdem Wheatstone (1842), Helmholtz (1860), Zoellner (1872), F. Brentano (1893), E. Burmester (1896), Wundt (1898) analysiert haben, auf psychische Gesetzmäßigkeiten zurückzuführen. Die Wundtsche Abhandlung ist von allen die umfassendste. Als Quintessenz seiner kritischen Durchmusterung aller der zahlreichen Hypothesen bezeichnet der Verfasser die, daß durchweg die Tendenz zu rein psychologischer Erklärung vorwaltet, wenn das Auge uns einen räumlichen Sachverhalt vorspiegelt, der, wenn man ihm mit Meßinstrumenten oder selbst nur mit dem Lineale zu Leibe geht, sich als gar nicht existierend zu erkennen giebt. Wundt dagegen zeigt, daß eine zufriedenstellende Erklärung die Erscheinung stets als eine komplexe aufzufassen hat, und daß weder das Netzhautbild, noch das Bewegungsbild für sich allein betrachtet werden darf, weil zwischen beiden alle möglichen Beziehungen und wechselseitigen Beeinflussungen obwalten.

Auf ein ganz anderes und doch, trotz aller Verschiedenheit, wegen der anthroprozentrischen Stellung der ganzen Disziplin, im Grunde verwandtes Feld sehen wir uns geführt, sobald wir die Pforten des Lehrgebäudes der Hygiene oder öffentlichen Gesundheitspflege betreten. Ohne den geschichtlichen Thatsachen irgendwelchen Zwang anzuthun, können wir diese Disziplin bis zu einer sehr weit hinter uns liegenden Vergangenheit zurückleiten, denn des Hippokrates berühmtes, wegen seiner Natürlichkeit und Verständlichkeit noch heute zum Studium anempfohlenes Werk „Über Luft, Wasser und Örtlichkeit“ erfüllt alle Bedingungen, die man an einen populären Lehrbegriff stellen kann. Nach diesem wurde in den medizinischen Fakultäten des Mittelalters und der beginnenden Neuzeit gelesen, ohne daß die selbständige Denkarbeit sich in anderen Publikationen als in Kommentaren äußerte, und erst ganz am Schlusse des 18. Jahrhunderts trat ein Wandel ein, indem der berühmteste Kliniker jener Epoche, der große J. Peter Frank (1745—1821), eine neue ärztliche Wissenschaft begründete, die zwar sehr viel umfassender gedacht war, immerhin aber doch den einzelnen Teilen des Systemes die bislang vermißte systematische Durcharbeitung angedeihen ließ. Einer der hervorragendsten

neueren Historiker der Medizin, A. Hirsch (geb. 1817), sagt von Franks „System einer vollständigen medizinischen Polizei“ (Tübingen-Mannheim 1784—1819), es habe nur wenige Vorarbeiten verwerten können und schließe außer dem, was auch nach moderner Begriffsdeutung in das Gebiet der Medizinalpolizei gehört, vieles Andere in sich, nämlich eben die Hygiene und die gesamte forensische Medizin. Dann fährt er in der Aufzählung der Verdienste dieses Systematikers folgendermaßen fort: „Unter Benützung aller bis dahin im Gebiete der Gesundheitspflege gemachten Erfahrungen und gesetzlichen Bestimmungen brachte er in das ganze, große Material Licht und Ordnung, und in der kritischen Behandlung eines jeden Objektes vermittelst der ihm von der Wissenschaft gebotenen Hilfsmittel führte er eine wissenschaftliche Auffassung in die Behandlung des Gegenstandes ein; unter seinen Händen ist die Gesundheitspflege zu einer Doktrin erhoben worden.“ Zumal die noch immer wiederkehrenden Invasionen verheerender Volksseuchen haben staatliche und städtische Behörden veranlaßt, unter ärztlichem Beirate große Aufwendungen zur möglichst vollkommenen Assanierung der menschlichen Wohnungen zu machen, und dieser Anreiz hat der szientifischen Hygiene mächtigen Vorschub geleistet. Die fortschrittliche, über Frank hinausführende Bewegung ging diesmal nicht von Deutschland aus, wo A. H. Nicolais „Grundriß der Sanitätspolizei“ (Berlin 1835) noch ziemlich im ausgefahrenen Gleise verharrte, sondern die Franzosen Parent-du-Chatelet, Leuret u. a. begannen die für die Gesundheit schädlichen Momente im Leben großer Städte nach physikalisch-chemischen Grundsätzen zu untersuchen, und als in Deutschland die Cholera einige verheerende Rundgänge gemacht hatte, trat man auch bei uns in die ernste Forschung nach den Krankheitskeimen ein, und die Namen L. Pappenheim (1818—1875), M. v. Pettenkofer, J. Soyka, H. Buchner (geb. 1850) u. a. sprechen in dieser Hinsicht eine beredte Sprache. Das Wort Hygiene ist in dieser Bedeutung anscheinend zuerst in Frankreich gebraucht worden; in Paris kommen seit 1829 die eine wertvolle Fundgrube darstellenden „Annales d'hygiène publique et de médecine légale“ heraus, das erste Glied einer Kette von inhaltreichen Fachorganen, deren

mehrere auch in deutscher Sprache erscheinen. Die Wanderversammlungen der Deutschen Gesellschaft für öffentliche Gesundheitspflege liefern gleichfalls eine sich stetig vermehrende Fülle wissenschaftlichen Stoffes. Was vor einem Jahrzehnt an gesicherten Thatsachen vorlag, vereinigt das große „Handbuch der Hygiene und Gewerbekrankheiten" (Leipzig 1882—1889), welches v. Pettenkofer und v. Ziemßen gemeinschaftlich herausgegeben haben, während in gedrängterer Zusammenstellung K. G. F. W. Flügge (geb. 1847) den modernen Standpunkt der hygienischen Disziplin gezeichnet hat („Grundriß der Hygiene", Leipzig 1891).

In neuester Zeit macht sich innerhalb letzterer das Prinzip einer Zweiteilung geltend, die im innersten Wesen der Sache begründet ist. Damit ein Mensch erkranken könne, sind nach v. Pettenkofer drei zusammenwirkende Ursachen notwendig, von deren keiner wir sagen können, daß sie uns genau bekannt sei, und die man deshalb füglich mit den in der Algebra für die unbekannten Größen gebrauchten Buchstaben x, y, z bezeichnen kann. Das x ist der eigentliche Krankheitserreger, das y die Gesamtheit der das Krankwerden begünstigenden äußeren Umstände, das z endlich die individuelle Disposition. Letzterer Punkt scheidet aus der Hygiene ein- für allemal aus und fällt anderen Teilen der ärztlichen Wissenschaft zu; aber aus der Erforschung des x und y setzt sich die neuere Hygiene zusammen. Als eigentliche Krankheitskeime betrachtet man seit etwa zwei Dezennien die sogenannten Mikroben, winzige, zumeist ausschließlich mikroskopische Lebewesen tierischer und — zumeist — pflanzlicher Natur (Abschnitt II); daß sie es sind, welche durchweg, zum mindesten bei Infektionskrankheiten, durch Eindringen in die Blutbahnen den Organismus gefährden, wird gegenwärtig allgemein angenommen. L. Pasteur (1822—1895) und R. Koch (geb. 1843) stehen an der Spitze dieses ungemein rasch emporgeblühten, Bakteriologie genannten Wissenszweiges. Derselbe gehört, obwohl auch er nur auf der Basis physikalischer und chemischer Methodik erwachsen konnte, nicht in unseren Kreis, und ebensowenig geht uns die Frage nach dem obigen z an; das y dagegen, das Milieu, wie man wohl auch die der Seuche förderlichen äußeren Umstände

zusammenfassend benennt, setzt sich aus lauter Elementen zusammen, mit denen es die anorganische Naturwissenschaft zu thun hat.

Den Einfluß der Witterung und des Klimas untersucht die hygienische Meteorologie, welche vor wenigen Jahren durch W. J. van Bebber (geb. 1841) ihr erstes Lehrbuch (1895) erhalten hat; auch ein allgemeineres Werk von G. M. Th. Hoh (1828—1888), „Die Physik in der Medizin“ (Stuttgart 1875) betitelt, geht auf diese Punkte besonders ein. Die Stauberfüllung der Luft, deren nosologische Wichtigkeit zuerst der Modeneser B. Ramazzini 1703 ins richtige Licht gestellt hat, kommt sehr in Frage, und da nach den neuesten Untersuchungen von J. Aitken (1839—1884) und G. Tissandier (geb. 1843) stets Staub in der Luft schwebt, den man durch das Aitkensche Verfahren der Staubkörnerzählung sogar volumetrisch zu aichen vermag, so kann diese Quelle von Gesundheitsstörungen als eine unausgesetzt fließende gelten — auf hohen Bergen und hoher See natürlich ungemein viel weniger reichlich, als in übervölkerten Städten. Der sanitäre Einfluß der Winde, unter denen man übrigens nach M. Hoefler den Föhn ganz mit Unrecht als schädlich verrufen hat, will beachtet sein, und noch weit mehr trifft dies zu für giftige oder irrespirable Gase, welche von Hause aus der natürlichen Atmosphäre fehlen. Kloaken und Kirchhöfe, welch letztere übrigens gar nicht mehr so ängstlich wie in früherer Zeit angeschaut werden, können die Luft in der angegebenen Weise verunreinigen; F. Renk („Die Kanalgase“, München 1882) zeichnet vor, wie man das Dasein solcher fremdartiger Luftbeimengungen quantitativ und qualitativ ermitteln kann. Die klimatische Anpassung, sofern Wechsel der atmosphärischen Umgebung dieselbe zur Pflicht macht, haben die Amerikaner Hammond und Herrick und insbesondere auch der deutsche Sozialhygieniker E. Reich (1879) behandelt. Rudolf Virchow eignet unter der Vielzahl seiner wissenschaftlichen Verdienste auch das, im Jahre 1885 den von jeder verständigen Kolonialpolitik nicht zu vernachlässigenden Gegensatz zwischen klimatisch-meteorologischer Akklimatisation, die sich durch sorgfältige Beachtung bewährter Vorsichtsmaßregeln immer erreichen läßt, und pathologischer Akklima-

tisation hervorgehoben zu haben, die in der Erreichung einer gewissen Immunität gegen örtliche Schädlinge, vor allem gegen die verschiedenen Tropengifte gipfeln würde, aber nur ganz ausnahmsweise vollkommen erreicht wird. Die Zukunft wird die Frage zu beantworten haben, ob mit R. Kochs Hypothese, daß speziell die gefürchtete Malaria durch den Stich von Moskitos übertragen werde, eine entscheidende Wendung zum Besseren angebahnt ward, wie es Wunsch und Hoffnung Vieler ist. A. Felkin, Schellong, L. Martin, K. Däubler („Die französische und niederländische Tropenhygiene", Berlin 1896), vor anderen auch zumal der holländische Kolonialpathologe Stokvis haben alle hierher gehörigen Fragen abgehandelt und Regeln aufgestellt, inwieweit durch diätetische Prophylaxe, Heilmittel, Luftveränderung, Aufenthalt in Höhensanatorien den Leidenden Hilfe gebracht werden kann. Auch die schlimmen Zufälle, denen die meisten Menschen in größerer Meereshöhe durch die sogenannte Höhenkrankheit ausgesetzt sind, und die allem Anscheine nach — von der bei Luftballonfahrten sicherlich fehlenden Ermüdung abgesehen — dadurch bedingt sind, daß mit zunehmender Entfernung vom Meeresspiegel eine ungemein rasche Sauerstoffabnahme erfolgt, gehören in das Gebiet der Hygiene; Viault, Pravaz, Bouchut, H. v. Liebig, Paul Bert (1833—1886) haben hierüber Klarheit verbreitet, und insonderheit bewiesen Berts Experimente, daß E. H. Webers Ansicht, bei geringem Luftdrucke werde das Bein nicht mehr gehörig in der Gelenkpfanne gehalten, nur in überaus engen Grenzen auf Zulässigkeit Anspruch machen kann. Der piemontesische Physiologe A. Mosso hat in einem bald auch verdeutschten Werke („Der Mensch in den Hochalpen", Leipzig 1899) die mit dem Höhenklima zusammenhängenden Fragen in vorzüglicher Weise monographisch abgehandelt. Es soll schließlich auch noch daran erinnert werden, daß die Auswahl solcher Örtlichkeiten, die man klimatische Kurorte nennt, ebenfalls der rationellen Hygiene zufällt.

Alles, was sich auf die Eigenschaften des Wassers bezieht, gehört vorwiegend in das Geschäftsbereich der Chemie und wird teilweise im nächsten Abschnitte in Erwägung zu ziehen sein, und

ganz ebenso steht es mit der Prüfung aller Eßwaren und Genußmittel, wofür sich ja jetzt auch die schon zu einer Sparte des öffentlichen Dienstes gewordene Nahrungsmittelchemie speziell zu interessieren hat. Die sogenannte Gewerbehygiene verlangt ein Ineinandergreifen der verschiedensten naturwissenschaftlichen und medizinischen Einzelwissenschaften, und zumal zur Hintanhaltung der Bleivergiftung, der durch das Quecksilber hervorgerufenen typischen Erkrankungen in Spiegelfabriken, und der früher von der Herstellung der Zündhölzchen fast unzertrennlichen Phosphornekrose mußte sehr ernstlich an die Unterstützung der physiologischen Chemie appelliert werden. Luft- und Lichtversorgung bilden die zwei großen Probleme der Schulhygiene, die sich in neuester Zeit auch ihre eigenen Fachmänner, wir nennen nur Baginsky und Kotelmann, erzogen hat. Die Leichenbestattung gravitiert wesentlich nach der chemischen Seite, aber wenn man die langsame Verbrennung der Vermoderung im Grabe durch die schnelle Verbrennung im Krematorium ersetzt, so kommt auch die physikalische Thermik zu ihrem vollen Rechte. Von den zahlreichen Schriften, die sich mit letzterer Bestattungsart unter dem einen oder anderen Gesichtspunkte befassen, steht für den Gelehrten obenan eine solche, die F. Goppelsroeder (geb. 1837) verfaßt hat („Über Feuerbestattung", Mülhausen 1890). Ganz direkt den Physiker aber gehen an jene drei Hauptabteilungen der öffentlichen Gesundheitspflege, die Heizung, Ventilation und Abfuhr der Fäkalstoffe zu ihrem Gegenstande haben.

Von den verschiedenen Arten der Heizung, die heutzutage vielfach durch erwärmtes Wasser oder erhitzte Luft vermittelt wird, ist schon wiederholt die Rede gewesen. Unser hygienisches Wissen über die Vor- und Nachteile der verschiedenen Arten der Wärmezufuhr hat 1881 ausgiebig G. Wolffhügel (1845—1898) zusammengefaßt in dem Abrisse, welchen er für das unter der Oberleitung von H. Eulenberg (geb. 1814) erschienene „Handbuch des öffentlichen Gesundheitswesens" (Berlin 1881—1882) schrieb. Die Lehre von der Lufterneuerung in Gebäuden — oder auch in unterirdischen Räumen — ist insbesondere durch G. Recknagel mannigfach gefördert worden, dessen theoretische Untersuchungen

aus den Jahren 1879 und 1884 auch dem Physiker als solchem wichtige Eröffnungen machten. A. Wolpert („Theorie und Praxis der Ventilation und Heizung", Stuttgart 1887) ist der beste Führer für den praktischen Architekten. Ungleich ausgiebiger hat sich die Litteratur auf dem Gebiete des Reinigungswesens gestaltet. Da sich für große Städte das Tonnensystem als unzulänglich nicht bewährt hatte, so griff man zu dem kostspieligen, aber radikalen Mittel der subterranen Kanalisation (Siehlanlagen), und von 1856 an entstand in Paris, angeordnet von dem genialen Hydrotechniker M. F. E. Belgrand (1810—1878), der zuvor (1854) das Pariser Tertiärbecken geognostisch und hydrographisch aufgenommen hatte, der Bau jenes ungeheuren Kanalnetzes, welches seither einer Menge anderer Städte zum Vorbilde gedient hat; was die Dichte der unterirdischen Röhrensysteme, d. h. ihre Länge, verglichen mit dem Flächeninhalte, anlangt, ist Paris in Deutschland u. a. von Berlin, München, Frankfurt a. M. und Augsburg überflügelt worden. Viel Aufsehen machte des Ingenieurs Liernur pneumatische Abfuhr („Rationelle Städteentwässerung", Berlin 1883—1891), die sich jedoch nicht durchweg bewährt hat. Der Altmeister der Hygiene, M. v. Pettenkofer, gab der Schwemmkanalisation den Vorzug („Vorträge über Kanalisation und Abfuhr", München 1880); die Abwässer hat man manchenorts, wie in Berlin, zur Befruchtung sogenannter Rieselfelder verwendet, während der Urheber des Verfahrens seine ganze Autorität dafür einsetzte, jene direkt in größere Wasserläufe hineinzuleiten und alles weitere der Selbstreinigung der Flüsse anheimzugeben. Es kann nicht wunder nehmen, daß dieser kühne Rat großen Widerspruch entfesselte, um so mehr, da uns eine ausreichende Einsicht in den supponierten Selbstreinigungsprozeß, ob derselbe mehr auf mechanische Zerkleinerung oder auf Entstehung neuer chemischer Verbindungen unter Mitwirkung niederer Pflanzen zurückzuführen sei, noch immer abgeht. Wie dem aber auch sei, die Thatsache selber scheint nicht geleugnet werden zu können; schon nach kurzem Laufe haben die als gesundheitsgefährlich zu beargwöhnenden Stoffe ihre Individualität vollkommen eingebüßt. Man kann

dafür einen bemerkenswerten Beleg anführen. Der Magistrat von Landshut an der Isar, wo man sich vor wenigen Jahren durch die Verwirklichung des Pettenkoferschen Projektes unangenehm betroffen fühlte, ließ durch seinen Stadtchemiker Willemer genaue Analysen des Flußwassers vornehmen, und diese zeigten, daß das, was sich an suspendierten Substanzen in der Isar vorfand, in gar keiner Weise mit dem Abfuhrwasser der Hauptstadt in Zusammenhang zu bringen war.

Die Neuerung v. Pettenkofers, auch den Boden gründlich zu entwässern, hat den weiteren, nicht hoch genug zu schätzenden Vorteil gewählt, daß eine stabile Tieferlegung des Grundwasserspiegels herbeigeführt ward. Denn daß mit den oberflächlichen Schwankungen des Grundwasserstandes die Seuchengefahr, hauptsächlich des Typhus und der Cholera, in Kausalnexus steht, hatte der große Physiologe schon früh erkannt, und der Mathematiker L. v. Seidel, uns durch seine photometrischen und dioptrischen Arbeiten wohlbekannt, hatte in den siebziger Jahren die Wahrscheinlichkeitsrechnung auf diese Beziehungen angewandt und gezeigt, daß wirklich die Oszillationen der Morbiditäts- und Mortalitätskurven von denen der Pegelstände im Bodenwasser bedingt sind. Seit die früher im Geruche einer vom Nervenfieber arg heimgesuchten Stadt stehende bayerische Residenz das Pettenkofersche Verfahren strenge durchgeführt und sich zugleich durch die Obsorge des erfahrenen Geologen W. v. Gümbel in den nahen Alpenvorbergen eine überreiche Quelle reinsten Trinkwassers erschlossen hat, ist der Unterleibstyphus daselbst geradezu eine seltene Krankheit geworden.

Durch die Notwendigkeit, das Grundwasser und ebenso die Bodenluft zu erforschen, deren Bewegung man mit dem Recknagelschen Differentialmanometer (1880) zu kontrollieren gelernt hat, tritt die Hygiene in enge Fühlung mit der letzten unter den vier Abteilungen, nach welchen wir die in diesem Abschnitte zu behandelnden Materien zu gliedern versuchten, nämlich mit der Agrikulturphysik. Wort und Inhaltsbegrenzung rühren her von M. E. Wollny (geb. 1846); und in den Dienst der von ihm wo nicht geschaffenen, so doch erst systematisch begründeten

Disziplin hat er eine neue Zeitschrift, die „Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik", gestellt, die von ihm selbst fast zahllose Beiträge brachte, aber auch in den zweiundzwanzig Jahren ihres Bestehens den Spezialisten Gelegenheit gab, in diesem Zentralorgane ein ungewöhnlich großes Maß von Forschungsresultaten aufzuspeichern. Wollny teilt sein Fach ein in die Physik des Bodens, in die Physik der Pflanze und in die Agrarmeteorologie; letztere soll uns kurz im zweiundzwanzigsten Abschnitte beschäftigen, und die Pflanzenphysik läßt sich von der Botanik, einem Bestandteile der organischen Naturwissenschaft, nicht trennen, wiewohl man zugestehen muß, daß gewisse neuere Bestrebungen, den Bau des Pflanzenkörpers als durch mechanische Gesetze bedingt nachzuweisen, die eigentliche Physik nahe berühren. Begonnen wurden die hier gemeinten Studien durch A. Braun (Abschnitt X), der im Jahre 1828, durch die Schuppung der Tannenzapfen hierzu angeregt, die Spiralkurven der Schuppen und in den folgenden Jahrzehnten diejenigen, welche man durch die Ansatzpunkte der Blätterstiele am Stamme hindurchlegen kann, auf ihre geometrische Gesetzmäßigkeit zu prüfen begann. Ungemein viel tiefer faßte die mit der sogenannten Quincuncialstellung verbundenen Fragen der Schweizer S. Schwendener (Abschnitt XVI), nachmals in Berlin, auf, der eine selbständige Phytodynamik begründet und durch diese eine Reihe ganz isoliert dastehender Beobachtungsthatsachen aus einem obersten Prinzipe abzuleiten ermöglicht hat. Auch noch weitere Beiträge zu einer mathematischen Botanik lassen sich da und dort nachweisen, so von F. Ludwig in Greiz und von H. Dingler (geb. 1847), dessen Monographie über die mechanischen Bedingungen der Keimverbreitung in der Atmosphäre („Die Bewegung der pflanzlichen Flugorgane; ein Beitrag zur Physiologie der passiven Bewegungen im Pflanzenreiche", München 1889) schlagend darthut, wie viel durch richtiges Ineinandergreifen von Beobachtung, Experiment und Rechnung auf einem anscheinend ganz der Willkür überlassenen Gebiete geleistet werden kann. Hier müssen wir es bei diesen Andeutungen belassen, und nur die Bodenphysik soll unsere Aufmerksamkeit noch einige Augenblicke fesseln.

Es leuchtet von selbst ein, daß, wenn die Pflanzenkeime in die Erde gesenkt werden, um hier zu wachsen, die Erwärmungs- und Bewässerungsfähigkeit des Erdreiches eine gewisse Prognose für die zu erwartende Ernte gewährleistet. Man wird mithin die Wärmekapazität, Porosität und den hygroskopischen Charakter der im Ackerbau verwendeten Bodenarten zu ergründen trachten. Wollnys eigene, außerordentlich variierte Versuche über die Wärmeverteilung in den obersten Schichten haben auch ein weitergehendes Interesse für die physikalische Geographie; wenn sich Fremdkörper, wie Steine, der Erde beigemengt finden, so wird durch sie selbstredend auch ein gewisser Einfluß auf die Wärmekapazität ausgeübt, denn Steine geben die rasch aufgenommene Wärme auch viel rascher durch Ausstrahlung wieder ab, als dies das lockere Erdreich thut. Das Verhalten des letzteren gegen Sickerwasser wurde von A. E. Mayer (geb. 1843), einem unserer namhaftesten Agrikulturchemiker, in Betracht genommen. Neben dem eigentlichen Wasser muß jedoch nach H. Hellriegel der bei Erniedrigung der Temperatur sich verflüssigende Wasserdampf Berücksichtigung finden. Die Durchlässigkeit studierte F. Seelheim im Zusammenhange mit den allgemeineren Untersuchungen Flügges über Porosität, und das Wogen der Grundluft, ein abgeschwächtes Spiegelbild der Bewegungen in der freien Atmosphäre, hat die Aufmerksamkeit von Wolffhügel, Renk und Hensele auf sich gelenkt. Auf wie viele integrierende Umstände man acht zu geben hat, zeigen uns die Versuche F. Kerner v. Marilauns über den Einfluß, den die Exposition, d. h. die Himmelsgegend, der sich die Bodenfläche mit ihrer Böschung zukehrt, auf die Art und Stärke der solaren Erwärmung ausübt. Andere Forschungen haben zum Objekte die von Ch. A. Müntz (geb. 1846), einem Elsässer, in den Jahren 1877 bis 1879 als ein gewichtiger Faktor der Bodenbildung erkannte Nitrifikation und den Transport löslicher Salze, worüber besonders H. Puchner gearbeitet hat. Die Salzböden und die Bedingungen, unter welchen sich dieselben bilden, haben in Amerika zwei Deutsche, F. Brendel (geb. 1821) und E. W. Hilgard (geb. 1833), in Deutschland selbst aber E. Ramann einer botanisch-

physikalischen Untersuchung unterzogen, und eben hierüber giebt es eine große Anzahl gediegener Arbeiten von russischen Geologen, leider der Sprache halber für weite Kreise unbenutzbar. Für die Physik des Ackerbaues unmittelbar wertvoll sind auch die ein neues Ferment in eine dem Anscheine nach abgeschlossene Theorie hineintragenden, Beobachtung und Reflexion glücklich vereinigenden Studien des Finländers Th. Homén über Frostbildung und die Art und Weise, wie sich dieser gegenüber die Gewächse verhalten. Daß das gefrierende Wasser den Tod der Pflanzenzellen herbeiführt, indem ihnen das unentbehrliche flüssige Wasser durch Anschießen an die in den Interzellularräumen entstandenen Eiskrystalle entzogen wurde, ist das Ergebnis der von A. E. Mayer und Müller-Thurgau ins Werk gesetzten Versuche.

Wir konnten und wollten lediglich eine Auslese aus dem reichen Inhalte einer noch jugendlichen Grenzdisziplin geben, um so darzuthun, daß dieselbe sich bereits eine Achtung gebietende Position im Gesamtbereiche der Naturwissenschaften errungen hat. Die schwesterliche Agrikulturchemie hat allerdings das höhere Alter voraus, aber die ehedem von ihr geübte Suprematie kommt ihr nicht mehr zu, und auch die Bodenkunde, die zunächst ein freilich ausgedehntes Anhangskapital der Geognosie darstellt, wird durch die Berührung mit der Bodenphysik wissenschaftlich gefestigt. Es wird sich so am Schlusse dieses Abschnittes der Eindruck befestigen, daß gerade das Vorhandensein von Grenzgebieten ein belebendes Element abgiebt, von dessen Zentren frisch pulsierendes Leben nach allen Seiten hin ausstrahlt.

Achtzehntes Kapitel.

Die Chemie in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts.

Wir haben im neunten Abschnitte die Chemie bis zum Jahre 1852 geführt. Der damit gewählte Markstein war, wie wir uns wohl bewußt sind, ein etwas willkürlich gesetzter, allein es wird sich das kaum je ganz vermeiden lassen, wenn man, wie dies aus Gründen der Übersichtlichkeit gar nicht anders denkbar ist, einen sehr langen Zeitraum, und dies ist doch ein Jahrhundert auf alle Fälle, in zwei Zeitfolgen von angenähert gleicher Dauer zerfällen will. In der Periode, an deren Anfang Lavoisier und Berthollet stehen, während dem Abschlusse die reifen Mannesjahre von Liebig, Woehler, Kolbe angehören, ist die Führerschaft von den Franzosen allgemach auf die Forscher germanischer Abstammung übergegangen, unter denen zwei Dezennien lang der Schwede Berzelius ein fast überall neidlos anerkanntes Übergewicht behauptete. Während zwischen anorganischer und organischer Chemie anfänglich kein besonderer Unterschied gemacht ward, hat sich derselbe späterhin, unter dem Drucke der Thatsachen, mehr und mehr herausgebildet, und indem sich die organischen Verbindungen als die rätselvolleren in den Vordergrund drängten, übten sie zugleich eine nachhaltige Einwirkung auf die Entwicklung der Strukturtheorien, die bei den Deutschen zuerst keinen rechten Beifall fanden, an denen sogar J. v. Liebig seine allerbitterste Kritik erprobte, und die sich doch nachgerade, wenn auch nur der bequemeren Systematik zuliebe, in der chemischen Welt einbürgerten,

so daß die Namen Dumas, Laurent, Gerhardt sich doch denen der bekanntesten Chemiker des östlichen Nachbarlandes zur Seite stellten. Man kann die Mitte des Jahrhunderts als eine Sturm- und Drangperiode für unsere Wissenschaft bezeichnen, auf welche ein Zeitalter der Abklärung und der vielfältigsten Triumphe in theoretischer wie in praktischer Beziehung folgte.

Vor allem war, wie wir uns mehrfach zu überzeugen Gelegenheit hatten, noch keine allseitige Übereinstimmung darüber erzielt, was man unter Molekül und was man unter Atom zu verstehen habe. Daß zwischen diesen beiden Begriffen eine Scheidung vorgenommen werden müsse, war eine den französischen Chemikern eigentümliche Anschauung, die sich nur langsam Anerkennung auch in weiteren Kreisen verschaffte. Doch auch diejenigen Physiker, welche auf dem Grenzgebiete gegen die Chemie hin thätig waren, drangen auf die Notwendigkeit, eine Spaltung des Moleküls in Atome zuzulassen; in dieser Lage waren Favre und Silbermann (1846), Andrews und Tait (1850) und vor allem Clausius (1857), der aus seinen thermodynamischen Betrachtungen den Schluß zog, daß die Hypothese von Avogadro (Abschnitt VIII) für physikalische Moleküle, die aber darum noch nicht die absolut kleinsten Körperbestandteile zu sein brauchten, zu Recht bestehe. Sir B. C. Brodie (1817—1880) kam 1850 durch Erwägungen, die allerdings einen etwas aprioristischen Charakter an sich trugen, zu der Hypothese, daß sowohl das Molekül von Wasserstoff, wie auch dasjenige von Sauerstoff einer weiteren Zerlegung fähig sein müsse. Wie sich Wurtz, Williamson, A. Hofmann, Frankland, Kolbe unter dem rein chemischen Gesichtspunkte zu diesen Fragen stellten, hat Abschnitt IX bereits klarzulegen gesucht. Es war wesentlich Williamson, erwähntermaßen ein Schüler v. Liebigs, dem eine rationelle Definition des chemischen Moleküls verdankt wird; G. C. B. Chancel (geb. 1822), der, nebenbei bemerkt, auch den Nutzen der Gasheizung in chemischen Laboratorien zuerst dargethan hat, unterstützte vollkommen selbständig die Bestrebungen Williamsons in der grundlegenden Abhandlung „Éthérification", welche 1851 die „Comptes rendus" der Pariser Akademie aus seiner Feder brachten. Auch andere Arbeiten, auf die hier nicht näher

eingegangen werden kann, trugen dazu bei, den neuen Ansichten Freunde zu werben, und insbesondere sah sich Gerhardt dazu angeregt, in eine Revision derjenigen Theorien einzutreten, welche er selbst, wie wir erfuhren, etwas über ein Jahrzehnt vorher betreffs der Zusammensetzung der Körper aufgestellt hatte.

Für die neuere Typentheorie des Straßburger Forschers, wie sie in systematischer Form das von ihm, zusammen mit Chancel, bearbeitete Werk „Précis d'analyse chimique qualitative“ (Paris 1855) dem Publikum vorlegte, war bestimmend die Absicht, alle Verbindungen, vorab die organischen, übersichtlich zu ordnen, indem dieselben sämtlich mit vier Typen, nämlich mit Wasser, Ammoniak, Wasserstoff und Chlorwasserstoff, in Parallele gestellt wurden. Diejenigen, welche dem nämlichen Typus angehörten, wurden als Glieder einer Reihe aufgefaßt, wozu schon früher (1842) J. H. W. Schiel (geb. 1813) durch seine Studien über organische Radikale und Homologie den Anstoß gegeben hatte. Den homologen Körpern treten bei Gerhardt auch iso- und heterologe zur Seite; die Glieder der drei auf diese Weise gebildeten Reihen stammen von den vier Typen ab, indem im Sinne der früher geschilderten „Théorie des résidus“ Substitutionen von Wasserstoffatomen zu stande kommen. So schien ein unitarisches System der organischen Körper entstanden zu sein, dem freilich zunächst nur eine mehr syntaktische Bedeutung beiwohnte. Die Konstitution des Stoffes in dem höheren Sinne, wie ihn Berzelius angedeutet, zu ergründen, war Gerhardts Vorsatz nicht; er begnügte sich vielmehr damit, „Spiegelbilder“ der Umsetzungen, welche thatsächlich vor sich gehen, konstruiert zu haben, und leistete grundsätzlich Verzicht auf tieferen Einblick in die eigentlich atomistische Struktur. Die Typenlehre von Dumas hatte unter Gerhardts Händen mit der älteren Radikaltheorie eine Verbindung eingegangen, und das „Système unitaire“ gewährte den Chemikern die Möglichkeit, sich auf einem überaus verzweigten und noch wenig geordneten Gebiete leichter zurechtzufinden. Einen höheren Wert jedoch als den eines sinnreich ausgedachten Schematismus war die große Mehrzahl der Fachleute auch dem neuen Gerhardtschen Lehrgebäude nicht beizumessen gewillt. „Die Nützlichkeit der

sogenannten Typentheorie" leugnete auch v. Liebig nicht mehr, der in den vierziger Jahren die Schärfe seiner Kritik, nicht durchweg ganz objektiv, an Gerhardts Jugendarbeiten erprobt hatte, aber für die Philosophie der Chemie, für die chemische Statik, mit Berthollet zu sprechen, war nicht eben viel gewonnen. Immerhin war der nach der angegebenen Richtung hin erzielte Fortschritt bedeutungsvoll genug, um die Frage, wer sich bei demselben hervorragend beteiligt hatte, zum Gegenstande lebhafter Erörterungen und Prioritätsreklamationen zu machen. Neben Laurent, Wurtz und Williamson, der zum öfteren mit L. Chiozza vereint arbeitete, ist da auch der Amerikaner Th. St. Hunt (1826—1892) zu nennen, der Urheber einer originellen, chemischen Erdbildungshypothese; seine in Sillimans Journal veröffentlichten Abhandlungen waren in Europa nur wenig gelesen worden.

Jedenfalls bot Gerhardts Einteilungsmodus eine bequeme und sichere Unterlage für weitere Untersuchungen auf dem von ihm kultivierten Arbeitsfelde. Williamson hatte 1851 darauf hingewiesen, daß es mehrbasische Radikale geben könne, und hieran knüpfte sechs Jahre später ein noch jugendlicher Gelehrter an, dem seine Wissenschaft noch für tiefgreifende Förderung verpflichtet werden sollte. Friedrich August Kekulé — nachmals Kekulé von Stradonitz — (1829—1896) erweiterte die Gerhardtsche Systematik durch die Annahme der gemischten Typen, an deren Existenz der ältere Meister nur insofern schüchtern gedacht hatte, als er für die Aminbasen einen Typus Ammoniak + Wasser aufstellte, der eben als ein gemischter bezeichnet werden muß. Diese neuen Typen ließen den Zusammentritt mehrerer Moleküle zum Bilden von Verbindungen als eine Notwendigkeit erscheinen. Jetzt fiel der Gegensatz zwischen gepaarten und anderen chemischen Verbindungen fort, indem der für ersteren Fall normierte Typus einfach Radikale an der Stelle des Wasserstoffs aufwies. So war Gerhardts Theorie nicht nur wesentlich abgerundet, sondern auch innerlich gefestigt worden, so daß sie, wie Ladenburg betont, eine Reihe von Jahren hindurch die organische Chemie zu beherrschen vermochte. Aber wie dies in der Geschichte

der Naturwissenschaften kein seltenes Vorkommnis ist, so schuf diese wichtige Ausgestaltung zugleich die Vorbedingungen des Hinfälligwerdens der Doktrin selbst. „Die Typentheorie war,“ so drückt sich der genannte Historiker der Chemie aus, „nur eine formale Anschauung, welche ihre Bedeutung verlor, sobald man den geistigen Inhalt derselben aufgefaßt hatte.“ Kekulé reihte den älteren Typen als neuen Typus das Grubengas an, dem er Methylwasserstoff, Chlormethyl, Chloroform, Chlorpikrin und Acetonitril zuordnete. Immerhin läßt sich zwischen den Typen des damals in Gent lehrenden jungen Chemikers und denen, welche seit Gerhardt seinen Fachgenossen geläufig waren, ein gewisser Unterschied herausfühlen, der später zum Gegensatze werden und zu einer vollständig neuen Formulierung der Konstitutionshypothesen hinüberleiten sollte.

Von den Arbeiten Kolbes und Franklands, deren Kern die Prüfung der von Berzelius so hoch gewürdigten Paarlinge ausmachte, mußte schon in dem früheren Abschnitte gesprochen werden, weil dieselben eben in der ersten Hälfte des Jahrhunderts ihren Ursprung hatten. Kolbes Abneigung gegen den Typenbegriff mochte vielleicht, falls nur hinter diesem nicht mehr gesucht wird, als er zu leisten bestimmt und befähigt ist, etwas zu weit gehen; gleichwohl geht auf seine Initiative hauptsächlich das nach und nach von so großen Erfolgen gekrönte Bestreben zurück, über eine — wenn auch noch so geistvoll ausgedachte — Schablone hinauszugehen und wirklich in das Innere der Körperwelt einzudringen. Franklands Entdeckung des Zinkäthyls, einer nach den verschiedensten Seiten merkwürdige Eigenschaften in sich schließenden Verbindung, leitete eine neue Epoche in der Entwicklung der analytischen Chemie ein, in welche mehrere der uns schon aus dem früheren Abschnitte bekannten Forscher, wie Woehler und Loewig, handelnd eingriffen. Auch der Engländer W. Odling (geb. 1829), Verfasser eines geschätzten „Manual of Chemistry“ (London 1861), und der Amerikaner J. M. Crafts (geb. 1839) dürfen hier nicht vergessen werden. Neben zahlreichen neuen Darstellungen kam auch die strenge Theorie zu ihrem Rechte, indem Kolbe eine neue Interpretation des Wesens der organischen Verbindungen gab, deren Kern erhalten geblieben ist, wenn auch die

Ausdrucksweise nicht mehr Bestand hat. Das Wort Paarung, welches von Berzelius und Gerhardt, allerdings nicht in identischem Sinne, gebraucht worden war, übertrug der Marburger Chemiker, der ein Jahrzehnt später (1865) eine Zierde der Leipziger Hochschule werden sollte, auf die Zusammensetzung der als organisch bezeichneten Körper überhaupt; dieselben sind durchweg gepaarte Radikale, und zwar ist es zumeist der Kohlenstoff, der mit den Radikalen eine Paarung eingeht. Dadurch mußte auch die chemische Formelsprache eine Änderung erleiden. Wie schon angedeutet, ist nicht die Gesamtheit der neuen Kolbeschen Lehren, die ihren Ausgangspunkt, das elektrochemische System von Berzelius, nicht verleugnen wollen und können, in den dauernden Besitz der Wissenschaft übergegangen, aber die Anregung, welche von ihnen ausging, hat sich jedenfalls in hohem Grade nachhaltig erwiesen. Die scharfe Scheidung zwischen Molekül und Atom, welche in jenen Jahren in den Mittelpunkt aller chemischen Kontroversen zu treten begann, ist bei Kolbe noch nicht durchgeführt, und auch die Ansicht, daß der die Paarung bewirkende Stoff — Radikal oder Element — die Verbindung nur untergeordnet bestimme, mußte aufgegeben werden, nachdem Frankland (1852) gezeigt hatte, daß die von Williamson als Sättigungskapazität eingeführte Größe von der Art der Paarung stark abhängig ist.

Franklands ganze Tendenz ging dahin, die Grundanschauungen, die ihn mit Kolbe verbanden, und die in letzter Instanz erwähntermaßen in dem von Berzelius bereiteten Boden wurzelten, mit den Typentheorien zu befreunden; erkannte er doch das Verdienst und den Wert dieser letzteren rückhaltlos an, obwohl er ihnen zum Vorwurfe machte, daß lediglich auf die Anordnung, zu wenig aber auf die spezifische Natur der Atome in ihnen Gewicht gelegt werde. Je weiter Frankland in seinen Untersuchungen fortschritt, desto bereitwilliger zeigte er sich, die Konkordanz mit der von den französischen Führern patronisierten Schule anzubahnen; „für die Typiker“, so kennzeichnet Ladenburg diese Durchgangsphase, „war Franklands Übertritt ein Gewinn, denn er brachte ihnen fremde Anschauungen mit, die sich trefflich verwerten ließen.“ Das frühere geistig-intime Verhältnis zwischen

dem englischen Chemiker und seinem deutschen Freunde Kolbe wollte sich unter diesen Umständen kaum noch aufrecht erhalten lassen, weil der letztere mit der ihn charakterisierenden Zähigkeit das Berzeliussche System verteidigte, allein das Schwergewicht der Thatsachen konnte auch in diesem Falle nicht umhin, sich geltend zu machen, und im Jahre 1857 vollzog Kolbe mittelst des in Liebigs Zeitschrift gedruckten Aufsatzes „Über die rationelle Zusammensetzung der fetten und aromatischen Säuren" seinen Übertritt in das bisher gegnerische Lager, worauf er dann auch wieder zusammen mit Frankland arbeiten konnte. Der fundamentale, zwar von Woehler antizipierte, aber selbst noch für den großen schwedischen Bahnbrecher zu kühne Satz wird jetzt ausgesprochen: „Die organischen Körper sind durchweg Abkömmlinge anorganischer Verbindungen." Mit Bezugnahme auf Entdeckungen, die Mitscherlich und J. A. Wanklyn (geb. 1834) gemacht hatten, werden die Kohlenstoffverbindungen von der Kohlensäure, die Schwefelverbindungen von der Schwefelsäure abgeleitet. Bei alledem wird man in Kolbes Arbeiten, die ausnahmslos Bereicherungen der Wissenschaft enthalten, das Streben nicht verkennen können, von der überkommenen Denkweise möglichst viel zu retten, und manche neuere Theorie hatte sich deshalb seines Beifalles nicht zu erfreuen. Der eminent fruchtbare Begriff der Valenz insbesondere mußte ohne seine Unterstützung, ja in gewissem Sinne sogar unter dem Einflusse der Gegnerschaft des Meisters, den Weg machen, der ihn zu einer dominierenden Stellung emporführen sollte.

In der Chemie läßt sich, teilweise sogar mit größerer Sicherheit, als dies in anderen naturwissenschaftlichen Disziplinen geschehen kann, sehr deutlich das Herauswachsen einer neuen Erkenntnis aus früher schon erkannten Wahrheiten verfolgen. So hat auch die Theorie der Valenz ihre Wurzel im Daltonschen Lehrsatze von den multiplen Proportionen. Hat man zwei verschiedene Grundstoffe a und b, so kann a sich mit einer wechselnden Anzahl von Atomen des Elementes b zu einem neuen Körper verbinden. Der Ausdruck Sättigungskapazität, welcher diese variierende Eigenschaft des nämlichen Elementes, je nachdem es zu anderen

Substanzen in Kontakt tritt, kennzeichnen sollte, geht auf Williamson zurück, aber eine wirkliche Gesetzmäßigkeit war hierin so wenig, wie in dem gleichfalls so verschiedenen Verhalten der Substitutionen, zu ermitteln gewesen. Nun gelangte aber Frankland, dessen einschlägige Arbeiten im Jahre 1853 an einer vorläufigen Etappe angekommen waren, zu der bald darauf auch von Kolbe selbständig gewonnenen Einsicht, daß die gepaarten Verbindungen von anorganischen Körpern abstammten, indem nur die Sauerstoffäquivalente durch Kohlenstoffradikale ersetzt seien. Doch hielten sich die Verhältniszahlen, gemäß deren sich solche Verbindungen vollzogen, in engen Grenzen, und es erschien als möglich, für jedes Element die Valenz, d. h. die Zahlen auszumitteln, welche das Zusammentreten desselben mit Atomen anderer Elemente zu einer neuen Verbindung regelten. Diese Auffassung brach sich nicht eben schnell Bahn, obwohl auch andere Gelehrte gelegentlich ganz nahe verwandte Gedanken aussprachen, und namentlich dachte man noch nicht daran, numerisch die Valenz desjenigen Elementes auszudrücken, welches als das im eigentlichen Sinne organische zu gelten hat, nämlich des Kohlenstoffes.

Den Fortschritt, welchen die Wissenschaft machen mußte, sobald ihr dieser gewaltige Fund zufiel, bahnten in ihrer Art an Experimentaluntersuchungen von H. L. Buff (1828—1872), Wurtz und M. P. E. Berthelot (Abschnitt IX), welch letzterer als der hochgeachtete Senior der französischen Chemiker noch unter uns weilt und die Welt durch die Fülle seiner sich stetig folgenden Untersuchungen in Staunen setzt. Wie man dies so häufig wahrnimmt, war man von der Ziehung der entscheidenden Schlußfolgerung stellenweise gar nicht mehr weit entfernt, aber es bedurfte doch eines überragenden Geistes, um den lange vorbereiteten Schritt auch wirklich zu thun. Die „Annalen der Chemie und Pharmazie“ brachten im Jahre 1858 einen Beitrag von Kekulé, der sich unter einem viel versprechenden Titel einführte: „Über die Konstitution und die Metamorphosen der chemischen Verbindungen und über die chemische Natur des Kohlenstoffs.“ Der Verheißung entsprach der Inhalt, obwohl der Autor selbst ausdrücklich erklärte, er könne „Betrachtungen dieser Art nur untergeordneten Wert“ beilegen.

Die Thatsache, daß der Kohlenstoff vierwertig, vieratomig ist, bildete von nun an die feste Grundlage der organischen Chemie. Wie auch der Stoff beschaffen sein mag, der sich mit Kohlenstoff verbindet: Addiert man die Anzahl der Atome des ersteren, welche zu einem einzigen Atome Kohlenstoff hinzutreten, so kommt stets die Zahl vier heraus. Freilich hatte, worauf wir bereits hinwiesen, Frankland für andere Elemente, zumal für Stickstoff und Phosphor, deren konstante Mehrwertigkeit auch schon festgestellt, und insofern wäre der methodische Wert von Kekulés Neuerung nicht gar so hoch zu veranschlagen gewesen, allein erstens war es eben doch der Kohlenstoff, dessen chemische Grundeigenschaft von so einschneidender Bedeutung ist, und zum zweiten wußte der geistvolle Forscher an seine erste Entdeckung, von der er ja gar nicht einmal besonders hoch dachte, den Übergang zu weiteren, folgenreichen Schlußreihen zu knüpfen. Es trat die bislang notgedrungen zurückgestellte Frage nach der Verkettung der Atome in den Vordergrund, und der letzte Rest der dereinst maßgebenden, längst vielfach erschütterten Lehrmeinung von der prinzipiellen Verschiedenheit anorganischer und organischer Verbindungen mußte schwinden. Auf die Streitfrage, ob die Auffindung der Vieratomigkeit des Kohlenstoffes thatsächlich Kekulés Verdienst, oder ob dasselbe den beiden Dioskuren Frankland und Kolbe zuzusprechen sei, soll an diesem Orte nicht eingegangen werden; Kolbe selbst, der sich mit seinem Nebenbuhler gerne kritisch auseinandersetzte (Kritik der Rektoratsrede von Kekulé über Ziele und Leistungen der Chemie, Leipzig 1878; Entwicklungsgeschichte der theoretischen Chemie, ebenda 1881), hat die Stadien des Erkenntnisprozesses in seiner Art eingehend dargelegt. Ganz allgemein dürfte jedoch dem Historiker der Wissenschaft die Pflicht obliegen, denjenigen als den Entdecker einer neuen Wahrheit zu feiern, der diese als der erste in der Form aussprach, in welcher sie der Nachwelt übermittelt und in den Unterricht der jüngeren Generationen aufgenommen worden ist. Obwohl mithin nicht geleugnet werden kann, daß in Kolbes zahlreichen Arbeiten ebenso wie in Franklands Studien über die Sättigungskapazität sozusagen alle Bestandteile des mit dem Namen Kekulés verbundenen Theoremes verborgen liegen, so war es eben

doch dieser letztere, der dafür die klare und eindeutige Formulierung angab, welche nun einmal in der Wissenschaft den Ausschlag zu geben pflegt.

Man würde es kaum verstehen, daß Kekulé gleichwohl mit so kühler Reserve von der glücklichen Divination spricht, die ihm zu seinem wichtigen Funde verholfen hatte, wüßte man nicht, daß, wie schon wiederholt bemerkt, die ganze Gerhardtsche Richtung nur äußerst bescheiden von der Möglichkeit dachte, durch die chemischen Formeln und deren Umbildung einen wirklich tieferen Einblick in den Bau der Körper zu erzielen. Kekulés Satz erheischte aber eine physikalische, eine über das syntaktische Schema hinausgehende Deutung, und A. S. Couper, der nur ganz wenig später von sich aus die Vierwertigkeit des Kohlenstoffs entdeckte, konnte sich nicht mehr diesem in der Natur der Sache liegenden Verlangen entziehen. Er unterschied für das Zusammentreten der Elemente zwei Modalitäten, die Wahlverwandtschaft und die Gradverwandtschaft, und diese letztere deckt sich dem Sinne nach so ziemlich mit der Valenz der deutschen Chemiker, die jetzt auch deutsch als Wertigkeit bezeichnet wird. Von den Valenzwerten, insoweit sie damals bekannt waren, ausgehend, suchte Couper die Formeln der wichtigeren organischen Verbindungen — Alkohol, Essigsäure, Äther, Blausäure u. s. w. — so zu schreiben, daß sie nicht nur einer willkürlichen Übereinkunft entsprachen, sondern echte Konstitutionsformeln darstellten, und in dieser Absicht berührte er sich wieder mit Kolbe. Innerhalb der Moleküle war dieser neuen Hypothese zufolge eine verschiedenartige Anordnung der Atome denkbar, die sich in dem differenten Verhalten der so entstandenen chemischen Verbindungen offenbaren mußte, und es galt, dieser abweichenden Struktur auf die Spur zu kommen. Dieser Name wurde vorgeschlagen von dem Russen A. Butlerow (1828—1886), der 1859 eine Besprechung der Couperschen Theorie publizierte. Als Struktur faßt er bündig „die Art und Weise der gegenseitigen Bindung der Atome in einem Molekül." Ist dies der Fall, so wird auch die weitherzige Annahme der Typentheoretiker hinfällig, daß ein und dieselbe Verbindung in verschiedenen chemischen Formeln ihre gleich richtige und adäquate

Darstellung finden könne; zu jeder Verbindung gehört auch nur eine einzige Formel. Das Emporkommen der Strukturtheorie spricht sich rein äußerlich, auch dem Laienauge sofort verständlich, in den zahlreichen graphischen Diagrammen aus, die von nun an die chemischen Lehrbücher und Fachzeitschriften erfüllen. Unter Denjenigen, die zuerst einen umfassenden Gebrauch von den neuen Methoden machten, ist an hervorragender Stelle auch R. A. K. E. Erlenmeyer (geb. 1825) zu nennen, der schon 1860 einen gewichtigen Anfang mit der Lösung der schwierigen Frage nach der Zusammensetzung der Eiweißkörper machte.

Die Behauptung Butlerows führte notgedrungen, falls sie sich als zutreffend erwies, zu der Annahme, daß die Wertigkeit eines Grundstoffes konstant sein müsse, daß sie nicht, wie Wurtz und A. Naquet (geb. 1834), der spätere radikale Politiker, wollten, eine wechselnde sein könne. Für die erstere Alternative entschied sich Kekulé, der Valenz — Atomizität in seiner damaligen Nomenklatur — und Atomgewicht für gleich stabile Größen erklärte, jedoch vor dem Forum der Folgezeit nicht unbedingt Recht behalten hat, da eben auch das Beweismaterial, mit dem er zu operieren hatte, den strengeren Anforderungen nicht genügen konnte. Die schroffe Art, wie er molekulare Verbindungen, die bei Anwendung großer Hitze in ihre Konstituenten zerfallen sollten, den von ihm so genannten atomistischen Verbindungen gegenüberstellte, die auch im gasförmigen Aggregatzustande als solche fortbestünden, entbehrte der überzeugenden Kraft und vermochte sich nicht zu behaupten, als Kolbe und Ch. W. Blomstrand (geb. 1826) ihre Angriffe gegen das Prinzip dieser Sonderung richteten. Es hat nachgerade den Anschein gewonnen, als treffe der Erfahrungssatz, dieses und jenes Element ist n-wertig, zwar innerhalb eines weiten Bereiches zu, erleide aber, wenn die Voraussetzungen eine ganz andere Gestalt annehmen, selber eine Modifikation. So ist z. B. unter normalen Umständen für Phosphor $n = 3$, aber der später gelungene Nachweis des Bestehens gewisser isomerer Verbindung dieses Elementes legt die Vermutung nahe, daß im gleichen Falle auch $n = 5$ werden könne. Auch die Ergebnisse, die W. Lossen (geb. 1838) bei seiner Prüfung anderweiter

Isomerien (1875—1877) erhielt, dürften im Sinne einer — allerdings beschränkten — Variabilität der Wertigkeit zu deuten sein. Es sind hier schon Fragen eröffnet, an deren exakte Erörterung erst dann zu denken war, als sich, wie wir nun in Bälde sehen werden, die Möglichkeit einer geometrischen Umformung der überlieferten chemischen Atomistik erkennen ließ.

Die Natur isomerer Verbindungen war in Abschnitt IX skizziert worden, denn schon in den zwanziger Jahren war, dank den Bemühungen eines Liebig, Faraday und Berzelius, eine Reihe isomerer, d. h. gleich zusammengesetzter und doch physikalisch wie chemisch nicht übereinstimmender Körper nachgewiesen worden, und die theoretische Wichtigkeit des Gegenstandes hatte dafür gesorgt, daß er nicht mehr von der wissenschaftlichen Tagesordnung verschwand. Nunmehr war für die vielfach noch dunkle Lehre ein neues Licht aufgegangen, und zwar dienten die Strukturformeln einem doppelten Zwecke: Sie gaben Aufschluß über das Wesen der Isomerie und führten zu bewußter, rationeller Auffindung neuer Zusammensetzungen dieser Art, während vorher doch zumeist nur ein glücklicher Zufall bei der Erweiterung der bestehenden Isomerientafel mitgewirkt hatte. Die Strukturtheoretiker konnten daran nicht zweifeln, daß zwei Substanzen, die man für chemisch identisch halten mußte und die hinterher diese Vermutung Lügen straften, nur durch eine Umlagerung der Atome voneinander unterschieden seien. Dahin gehört die von A. W. Hofmann, zusammen mit Olshausen, über die Isomeren des Cyanursäure-Äthers angestellte Untersuchung (1871). Vor allem aber fand der große Chemiker hier Gelegenheit einzugreifen, mit dem wir im vorhergehenden Abschnitte als mit einem der führenden Geister der modernen Hygiene Bekanntschaft schlossen. Durch seine Entdeckung der Isomerie von Wein- und Traubensäure, die im Jahre 1853 perfekt geworden war, sah sich L. Pasteur in dieses Forschungsgebiet hineingezogen, dem er nachgerade auch eine besondere Monographie gewidmet hat („Recherches sur la dissymétrie moléculaire des produits organiques naturels", Paris 1861). Ihm folgend, muß man annehmen, daß die Anzahl der isomeren Bildungen, welche mit der

gleichen Menge chemischer Bausteine aufgebaut werden können, eine beliebig große sein kann, denn Pasteur selbst that das Dasein von vier isomeren Weinsäuren dar, und ein strenger Beweis dafür, daß mit der Zahl 4 diese Zahl erschöpft sei, kann nicht erbracht werden. Allerdings reicht die Chemie allein nicht zu, um diese verschiedenen Anordnungsformen sonst gleichförmig gebildeter Atomkomplexe zu isolieren, sondern es muß auch jene physikalische Untersuchungsmethode hinzugenommen werden, die auf der ungleichsinnigen Drehung der Polarisationsebene des Lichtes beruht. Angesichts des Umstandes, daß also auch die Physik Mittel zur Erkennung der Isomerien an die Hand giebt, war L. Carius (1829—1875) in seinem guten Rechte, wenn er (1863) die physikalische Isomerie als einen selbständigen Erscheinungskomplex von den übrigen Manifestationsformen dieses Phänomenes abtrennte.

Ehe wir dazu übergehen können, den Ausweg aufzuzeigen, der aus einem Wirrsale verwickelter Einzelheiten zu einer atomistischen Interpretation von überraschender Einfachheit führen sollte, haben wir vorerst noch den weiteren Schicksalen der Strukturtheorie nachzugehen. Mit jener glücklichen Hand, die man so oft an ihm bewundern muß, entwarf Kekulé im Jahre 1865 die Grundzüge einer neuen Auffassung der aromatischen Verbindungen. Schon geraume Zeit kannte man das Benzol, eine Flüssigkeit, welche Faraday als Destillationsprodukt fetter Öle dargestellt und ganz besonders aus dem Steinkohlentheer gewonnen hatte. Daß im Benzol je sechs Kohlenstoff- und Wasserstoffatome miteinander verbunden sind, war ebenfalls bekannt, aber die Frage nach der Art ihrer Vereinigung war noch offen. Kekulé ging von der offenen Kette aus, welche den bisherigen Vorstellungen zufolge in der Fettreihe dominieren sollte, und sprach dem Benzol eine geschlossene Kette zu, und damit war auch der Anlaß zu einer geometrischen Konstruktion des Atomverhaltens gefunden. Die Strukturformel ist gegeben durch ein regelmäßiges Sechseck, in dessen Ecken die alternierend ein- und zweiwertig gebundenen Kohlenstoffatome stehen, deren jedes mit einem Atome Wasserstoff vereint zu denken ist. Dieses Sechseck bildet das Schema, mit

dem manipuliert wird, um die verschiedenen Glieder der vorerwähnten Reihe zu erhalten. Die aromatischen Verbindungen entstehen, wenn die Wasserstoffatome ihre sich symmetrisch zugeordneten Plätze verlassen und durch Atome eines anderen Elementes vertreten werden. Da sechs Ecken vorhanden sind, und da für jeden Eckpunkt eine zweifache Raumanordnung denkbar ist, so wird man von vornherein mutmaßen dürfen, daß, wenn statt des Wasserstoffs ein neues Element eintritt, zwölf isomere Körper herauskommen müssen, und daß dem wirklich so sei, ist auch 1878 von F. K. Beilstein (geb. 1838) und A. Kurbatow (geb. 1851) außer Zweifel gesetzt worden. Kekulés Symbolik, die eben doch, wie die Resultate bekundeten, dem wirklichen Verhalten der Natur treu angepaßt sein muß, hatte einen gewissen hodegetischen Nutzen für die Erforschung anderer Vorkommnisse und bis zu einem gewissen Grade vorbildlich für die Raumchemie, und es wurde grundsätzlich dieser Nutzen nicht geschmälert, wenn A. Claus (1840—1899) die hexagonale Anordnung modifizierte, oder wenn A. Ladenburg („Theorie der aromatischen Verbindungen", Braunschweig 1876) die Doppelatome in die Ecken eines geraden dreieckigen Prismas verlegte. Die scharfe Kritik, welche einer der hervorragendsten Vertreter der neueren Chemie, J. W. F. A. v. Baeyer (geb. 1835), an den Benzolformeln übte, zerstörte immerhin nicht die Möglichkeit einer geometrischen Anordnung der Atome in einer solchen Verbindung, wie denn v. Baeyer selbst zuletzt seiner Übereinstimmung mit Claus Ausdruck verlieh. Auch viele Körper, mit denen uns erst spätere Forschung bekannt machte, haben sich den für die aromatischen Verbindungen als giltig ermittelten Gesetzen unterordnen lassen; dahin gehören das Anthracen, ein bei der Bereitung von Alizarin eine Rolle spielender Kohlenwasserstoff aus dem Steinkohlentheer, und das ebenfalls aus diesem Körper gezogene Naphthalin, das als Schutzmittel von Kleidern gegen niedere Tiere weite Verbreitung gefunden hat und unter dem Gesichtspunkte der Strukturtheorie dem Benzol völlig zur Seite gestellt werden muß. Die Arbeiten von R. Fittig (geb. 1835) und K. Graebe (geb. 1841), dem Entdecker des künstlich hergestellten Alizarins, haben nach dieser Seite hin die wert=

vollsten Aufschlüsse geliefert. Zumal die Bearbeitung der sogenannten Chinone durch Graebe muß als eine in methodologischer Hinsicht besonders verdienstliche hervorgehoben werden. Die Substanz, von der hier die Rede ist, war schon viel früher von A. Woskresensky (1819?—1880) aufgefunden worden, aber über ihre Stellung in dem Rahmen der Theorie dachte man zunächst nicht besonders nach, bis Graebe darauf verfiel, daß man es da mit einem bemerkenswerten Analogon des Benzols zu thun habe. Wir werden auf den auch technisch sehr verwertbaren Stoff bei unserem Überblicke über die industrielle Chemie zurückzukommen haben. Aus diesen umfänglichen und feinen Untersuchungen, bei denen sich stets Reflexion und Experiment die Hand boten, resultierte auch eine scharfe Umgrenzung des vorher noch etwas vagen Begriffes der aromatischen Verbindungen, um die sich vorzugsweise Viktor Meyer (1848—1897) verdient machte („Die Thiophengruppe“, Braunschweig 1888). Auch begnügte man sich nicht mehr mit der Aufstellung der Strukturformeln, sondern man dachte auch an die chemische Ortsbestimmung, deren Aufgabe es ist, wenn durch Substitution aus dem Benzol ein neuer Körper entstand, die relative Lage der vertretenden Atome zu ermitteln. Durch Adolf v. Baeyer, Ladenburg, Graebe u. a. sind auch für diesen Zweck die Untersuchungsmittel und Methoden geschaffen worden. Insbesondere ist man hierbei auch einer neuen, der älteren Chemie unzugänglichen Erscheinung auf die Spur gekommen, welche von P. K. Laar (geb. 1853) im Jahre 1885 den Namen Tautomerie empfing, und die sich dadurch kennzeichnet, daß zwei verschiedene Strukturformeln notwendig sind, um die chemische Konstitution solcher Körper, als deren bekanntester Repräsentant der Cyanwasserstoff gelten kann, richtig wiederzugeben.

Alle diese sich drängenden Entdeckungen brachten auch eine grundstürzende Änderung in den theoretischen Anschauungen zuwege, die man sich zu verschiedenen Zeiten, jeweils unter dem bestimmenden Eindrucke des augenblicklichen Wissensstandes, gebildet hatte. Der Historiker überzeugt sich, ohne daß ihn diese Wahrnehmung zu überraschen vermöchte, daß dieselben Versuche, das atomistische Problem zu lösen, die ein- und zweihundert Jahre

zuvor von sich reden gemacht haben, wieder auftauchen und auf ihren Wert für den genannten Endzweck geprüft werden. Wir besitzen ein ausgezeichnetes Werk über diesen Gegenstand in K. Laßwitz' (Abschnitt XI) „Geschichte der Atomistik“ (1889), und in diesem begegnen wir den Vorläufern so ziemlich der meisten Hypothesen, die zur Erklärung der oft rätselhaften Umlagerungen der kleinsten Teile ersonnen wurden. Was für die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts die proteusartige Iso-, Meta- und Tautomerie, das war für die Physiker an der Grenze des 17. und 18. Jahrhunderts die Kapillarität, und wie man sich, um letzterer gerecht werden zu können, die Korpuskeln mit Haken, Zangen, Borsten u. dgl. ausgerüstet vorstellte, so sind auch in unseren Tagen derartige Verfeinerungen des atomistischen Grundgedankens, gegen die der Erkenntnistheoretiker sich allerdings immer spröde verhalten wird, nicht ausgeblieben. Allein gerade die zuletzt erwähnten Thatsachen drängten mehr und mehr dazu, ein Arbeitsfeld zu gewinnen, welches, ohne daß die so plausible Vorstellung von der ursprünglichen Identität aller materiellen Elementarbestandteile aufgegeben zu werden brauchte, eine freiere Bewegung gewährt, und eine solche ist nur im unendlichen Raume selber möglich. Wir erfuhren, daß ganz vorübergehend schon Laurent auf die Nützlichkeit, eine gewisse räumliche Gruppierung der Atome anzunehmen, angespielt hatte, aber erst gegen die Mitte der siebziger Jahre ward der Grund gelegt zu jener neuen chemischen Spezialdisziplin, welche den Namen Stereochemie erhalten hat. J. A. le Bel (geb. 1847) muß unter den Begründern der Raumchemie unbedingt genannt werden, aber seine vollkommen autonome Darstellung hat sich nicht diejenige Publizität erringen können, die sofort der mehr systematisch gehaltenen Schrift zu teil ward, in welcher ein noch sehr junger holländischer Gelehrter seine sogleich das größte Aufsehen erregenden Ideen entwickelte. Person und Sache sind für das letzte Vierteljahrhundert der Chemie so wichtig geworden, daß wir es nicht vermeiden können, beiden eine etwas ausgiebigere Erörterung zu widmen.

J. Hendrick van't Hoff aus Rotterdam (geb. 1852), ein Schüler von Kekulé und Wurtz, trat mit seiner Epoche machenden

Abhandlung („Vorstel tot uitbreiding der Structuur-Formules in de Ruimte“, Rotterdam 1874) noch in sehr jugendlichem Alter hervor. Seit 1878 Professor an der „freien“, d. h. nicht vom Staate unterhaltenen Universität Amsterdam, hat er die Wissenschaft mit zahlreichen, namentlich synthetischen Arbeiten bereichert, die durchweg von dem gleichen Prinzipe getragen und befruchtet waren, und so fügte es sich, daß er vor ein paar Jahren nach Berlin berufen ward und nunmehr in Deutschland die von ihm erdachten Lehren zum Gemeingute der Chemiker machen kann. Indessen waren dieselben vor seinem Übertritte nach Deutschland dort nicht etwa unvertreten. Schon bald nach dem Erscheinen der erweiterten französischen Bearbeitung der oben genannten Schrift (Rotterdam 1875), von welcher F. Herrmann (Braunschweig 1877) auch eine deutsche Ausgabe veranstaltete, hatte einer der hervorragendsten deutschen Chemiker, J. Wislicenus (geb. 1835), die stereochemische Auffassung zu der seinigen gemacht, was ihm um so leichter fallen mußte, als er bei früheren Studien über die Konstitution der Milchsäuren schon darauf verfallen war, daß hier die räumliche Anordnung der Atome innerhalb des Moleküles von Belang sein müsse. Ihm ist es zu danken, daß weitere Kreise in die Lage versetzt wurden, sich selbst ein Bild von den Vorteilen, ja von der Naturnotwendigkeit der neuen Theorie gestalten zu können; er legte nämlich deren Grundzüge in einem überaus lichtvollen Vortrage nieder, den er 1887 vor dem Plenum der Wiesbadener Naturforscherversammlung hielt und durch Vorzeigung passend gefärbter Modelle in höchst glücklicher Weise veranschaulichte. Auch ein Lehrbuch des von van t'Hoff geschaffenen Wissenszweiges ist von A. Hantzsch (geb. 1857) verfaßt worden (Breslau 1893), so daß man mehr und mehr hoffen darf, diese auch für die theoretische Physik fundamentale Regeneration der antiken Atomistik festen Fuß in der Naturwissenschaft fassen zu sehen. Für die geschichtliche Seite der Disziplin wird man sich auf K. F. Auwers' (geb. 1863) „Entwicklung der Stereochemie“ (Heidelberg 1890) beziehen, und sogar ein „Handbuch der Stereochemie“, redigiert von C. A. Bischoff und P. Walden, ist seit 1894 im Erscheinen begriffen; somit ist dafür Sorge getragen, daß jeder Chemiker sich über die Beziehungen,

welche sein Fach mit der geometrischen Raumlehre verknüpfen, gründlichst unterrichten kann. Die Frage, ob es noch erforderlich sein wird, Bewegungshypothesen zu Hilfe zu nehmen, mittelst deren eine gegebene Raumanordnung in eine andere übergeführt werden kann, wollen wir dahingestellt sein lassen. Wislicenus selbst glaubt ohne die Voraussetzung besonderer, Richtung gebender Affinitätsenergien nicht auskommen zu können, und die auffallende Erscheinung der Tautomerie schien manchen Fachmännern auf einen Schwingungszustand der Atome hinzuweisen. So hielt noch in allerneuester Zeit E. Knoevenagel dafür, daß die von J. Thiele (geb. 1865) nachgewiesenen mehrfachen Bindungen von Kohlenstoff- und anderweiten Atomen ohne die Bewegungshypothese nicht wohl begriffen werden könnten, was jedoch der andere Chemiker nicht zuzugestehen geneigt ist. Sehr eingehend hat sich über die Atombewegung auch Wunderlich im Jahre 1886 ausgesprochen. Alle diese Spekulationen befinden sich noch zu sehr im Flusse, um jetzt schon das Objekt einer wirklich objektiven geschichtlichen Darstellung werden zu können. Nur dessen sei noch gedacht, daß van t'Hoff in der zweiten deutschen Ausgabe seiner berühmten Programmschrift („Die Lagerung der Atome im Raume", Leipzig 1894) auch die Stereochemie des Stickstoffs ganz ebenso eingehend begründet hat, wie dies von ihm zuerst nur für den Kohlenstoff bethätigt worden war.

Jedenfalls mangelt es auch heute schon nicht an Thatsachen, welche die Berechtigung der Behauptung, daß die verschiedene Zusammenstellung der Atome die augenfälligen Verschiedenheiten im Verhalten von chemisch anscheinend identischen Körpern befriedigend aufklärt, außer Zweifel setzen. Die Drehung der Polarisationsebene im einen oder anderen Sinne verliert den ihr ursprünglich anhaftenden Charakter einer allein dastehenden Sonderbarkeit, sobald man vernimmt, daß die Kohlenstoffatome der betreffenden Verbindungen in ihrer räumlichen Stellung auch eine entgegengesetzte Symmetrie erkennen lassen. Die noch zu erwähnenden, großartigen Leistungen von Emil Fischer (geb. 1852) auf dem Gebiete der Zuckersynthese, von A. v. Baeyer in der Erforschung der sogenannten Ringe, von V. Meyer in

der Zurückführung gewisser Isomerien auf die Verteilung der Kohlenstoffatome haben eine Durchdringung mit stereochemischen Ideen zur Grundlage gehabt. Aus diesen erhellt, daß Isomerie Regel und nicht Ausnahme ist, und daß es nur an der Unvollkommenheit unseres Wissens lag, wenn die wenigen Fälle, die nach und nach zur Kenntnis der Chemiker kamen, den Eindruck des Anomalen erweckten, während umgekehrt dann, wenn für die Atome eine Vielzahl von Möglichkeiten besteht, sich räumlich in Gruppen zusammenzuordnen, die Wahrscheinlichkeit, diese Konfiguration werde nicht immer eine absolut identische sein, als sehr nahe liegend betrachtet werden muß. Stereochemisch scheint ferner eine Beobachtung gedeutet werden zu müssen, die V. Meyer 1896 machte; hier und da gewinnt es den Anschein, als ob eine Verbindung, auf deren Zustandekommen man warten darf, sich nicht oder doch nur langsam bildet, gerade als ob den neu eintretenden Atomen der freie Bewegungsraum versperrt wäre. Doch hat es auch gegnerische Stimmen gegeben, wie z. B. Claus, und es ist der auch im günstigen Falle gewiß ganz berechtigte Rat erteilt worden, nicht absolut Alles von einer Theorie zu erwarten, die ja auch im Sinne ihrer Anhänger immerhin nur einem Teile der zahllosen Einzelphänomene gerecht zu werden vermag. Wenn z. B., wie E. Richard Meyer (geb. 1846) wahrscheinlich machte, Beziehungen zwischen Farbe und Struktur der Körper obwalten, so würde es kaum angehen, lediglich in der Raumanordnung den Schlüssel für eine isoliert dastehende physikochemische Erscheinung suchen zu wollen. Auf alle Fälle aber stellt die Stereochemie für die Zukunft noch reichen Gewinn in Aussicht.

Mit der theoretischen Ausbildung der Wissenschaft bleibt aufs innigste verbunden die Synthese der organischen Körper, für welche, wie wir wissen, schon in der ersten der beiden von uns unterschiedenen Perioden durch Woehler, Kolbe und Frankland ein unerschütterlicher Grund gelegt worden war. Wie rüstig jedoch auf dieser Basis in den nächsten Jahrzehnten fortgebaut wurde, ersieht man aus der auch das geschichtliche Element dankenswert berücksichtigenden Monographie von K. Elbs („Die synthetischen Darstellungsmethoden der Kohlenstoffverbindungen“, Leipzig

1889). A. v. Baeyer hat hier eine erfolgreich schaffende Schule gegründet, von der uns einzelne Mitglieder bei verschiedenen Anlässen begegneten; H. v. Pechmann (geb. 1852), L. Liebermann (geb. 1852), E. Bamberger (geb. 1857), W. v. Miller (1848 bis 1899), W. Koenigs, J. Tafel, O. Piloty, um nur einige Namen aus der Vielzahl herauszugreifen, sind jüngere Vertreter deutscher Zunge. Vegetabilische Säuren und Farbstoffe künstlich zu bilden, ist E. Fischer, Ladenburg u. a. mehrfach gelungen; unser Gesamtwissen von diesem Zweige der Synthese hat J. Biehringer übersichtlich dargestellt. Die vielen sinnreichen Methoden, deren man sich bediente, können hier unmöglich Gegenstand der Erörterung sein, und nur des einen Umstandes möge im Vorbeigehen Erwähnung geschehen, daß vermittelst des sogenannten elektrischen Effluviums neuerdings russische Forscher schwierige Synthesen bewerkstelligt haben wollen. Dieses Verfahren brachte auch 1899 der greise Berthelot zu Ehren, indem er mit seiner Hilfe das spröde Argon mit Schwefelkohlenstoff eine Verbindung einzugehen zwang — derselbe Berthelot, der nahezu vierzig Jahre vorher, wie erwähnt, durch den Aufbau der Ameisensäure aus ihren Elementarbestandteilen die synthetische Darstellung organischer Körper einen wesentlichen Schritt über den bereits von Woehler erreichten Standpunkt hinaus hatte thun lassen. Welch gewaltiger Abstand zwischen diesen Errungenschaften der Gegenwart und dem bescheidenen Anfange! Als Studierender noch hatte der spätere Göttinger Meister die Worte niedergeschrieben: „Ich stellte mir vor, es könne bei der Vereinigung von Cyansäure und Ammoniak eine organische Substanz und zunächst vielleicht ein den vegetabilischen Salzbasen ähnlicher Stoff entstehen; heute beherrscht die organische Synthese in ihren vielgestaltigen Verzweigungen die ganze chemische Wissenschaft."

Die rein theoretische Seite dieser letzteren haben wir damit in dem Umfange skizziert, über den wir, so verlockend es wäre, angesichts der äußeren Verhältnisse nicht hinausgehen dürfen. Indem wir uns den Fortschritten zuwenden, welche die Lehre von den Elementen in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts zu verzeichnen hatte, bleiben wir noch in enger Fühlung mit der Theorie.

Wir vernahmen, daß Berzelius vermöge seines genialen Taktes für die Atomgewichte der damals bekannten Grundstoffe Zahlenwerte ermittelt hatte, die großenteils nur geringer Berichtigungen bedurften. Sein Werk setzte Stas fort, dessen „Nouvelles recherches sur les proportions chimiques“ (Brüssel 1865) — L. Aronstein (geb. 1841) hat uns dieselben in deutschem Gewande (Leipzig 1867) zugänglich gemacht — einen Abschluß der einschlägigen Untersuchungen signalisieren. Gleichwohl machte schon die niemals rastende Erfinderthätigkeit auch wieder neue Bearbeitungen des alten Problemes notwendig; der dänische Thermochemiker J. H. P. J. Thomsen (geb. 1826) veröffentlichte 1894 die von ihm gefundenen, als rationelle Atomgewichte bezeichneten Zahlen, und gleichfalls in den neunziger Jahren setzte die Deutsche Chemische Gesellschaft einen Ausschuß ein, um die Revision, mit der schon früher begonnen worden war, in die Wege zu leiten. H. H. Landolt (geb. 1831), K. F. O. Seubert (geb. 1851) und W. Ostwald (Abschnitt XII) haben dieser Kommission angehört, und im Jahre 1899 hat dieselbe ihren wohl erwogenen Bericht erstattet, auf dessen Daten die Fachmänner des 20. Jahrhunderts wohl für längere Zeit zurückgreifen werden.

Prouts kühne Hypothese, daß sämtliche Atomgewichte durch Multiplikation mit ganzen Zahlen aus demjenigen des Wasserstoffs hervorgingen, ist in Abschnitt IX gestreift und als unzulässig erkannt worden, allein trotzdem war sie, wie ja gar häufig der Irrtum eine Quelle neuer Wahrheiten darstellt, der Wissenschaft förderlich gewesen, denn durch sie war die Diskussion über eine gewichtige Frage in Fluß geraten. Gemeint ist die Frage: Läßt sich in den Zahlen der Atomgewichte irgendwelche Gesetzmäßigkeit feststellen? Doebereiner, Dumas, Odling und andere Chemiker von Ruf hatten eine bejahende Antwort, jeder in seiner Weise, gegeben; M. v. Pettenkofer hatte 1850 zu zeigen vermocht, daß man natürliche Gruppen der Äquivalentzahlen bilden könne, so daß gleichmäßige Differenzen der Mittelwerte entstünden, und von dem Rheinländer P. Kremers (geb. 1827) erschien seit 1863 eine Folge von Abhandlungen, durch die sich als roter Faden das Bestreben hindurchzieht, auf physikalisch-chemischem Wege Atom-

gewicht, Atomvolumen und Wärmekapazität kausal zu verbinden. Der große Wurf glückte jedoch erst 1864 dem damals in Breslau dozierenden J. Lothar Meyer (1830—1895), und die deutsche Gelehrtenwelt erkannte die Bedeutung seiner Entdeckung sofort bereitwillig an, während zwei andere Chemiker, die sich gleichfalls auf dem richtigen Wege befanden, minder glücklich waren. Die freilich etwas eigentümlich eingewickelten Sätze des auch in seinen kartographischen Bestrebungen stets doktrinären A. E. Béguyer de Chancourtois (1819—1886), der 1862 die Elemente nach ihren Atomgewichten auf einer Schraubenlinie aneinanderreihen wollte, blieben unbeachtet, und der Engländer J. Newlands, der fast gleichzeitig mit L. Meyer ähnliche Gedanken formulierte, hatte mit spöttischem Skeptizismus zu kämpfen. Beide Männer bemerkten, daß in der Reihe der Atomgewichte eine gewisse Periodizität platzgreife. Was die erste Wahrnehmung noch an Bestimmtheit zu wünschen übrig ließ, wurde seit 1869 durch Mendelejew und gleicherweise durch L. Meyer selbst ergänzt, der darüber in seinen selbständigen Schriften („Moderne Theorien der Chemie", Breslau 1864, seitdem vielfach neu aufgelegt; „Die Atomgewichte der Elemente, aus den Originalzahlen neu berechnet", mit K. F. O. Seubert [Tübingen], Leipzig 1884; „Grundzüge der theoretischen Chemie", Breslau 1890) ausführlich berichtet hat. Jedem Elemente kommt auf Grund seines Atomgewichtes ein bestimmter Platz in der Gesamtreihe zu, und diese Zuordnung ist eine so sichere, daß sie einerseits zur Bestimmung noch unbekannter Atomgewichte und andererseits, wie sich noch ergeben wird, dazu dienen kann, das Vorhandensein von Elementen zu prognostizieren, die noch durch kein anderes Lebenszeichen ihre Existenz verraten haben. Das periodische System der Elemente ist zugleich ein natürliches, und die Unterbringung eines Grundstoffes in ersterem geht ohne Willkürlichkeit von statten.

Daß beim Ablaufe der ersten Jahrhunderthälfte eine ziemlich große Anzahl von Elementen bekannt war, zeigte Abschnitt IX, und ebenso machte uns Abschnitt XII damit bekannt, daß im sechsten Dezennium eine analytische Methode von bisher ungeahnter Feinheit ins Leben trat. Es wurde hervorgehoben, daß sich das

Lithium spektroskopisch leichter und allseitiger nachweisen ließ, und daß mit der Darstellung von Caesium und Rubidium die Spektralanalyse recht eigentlich ihre Feuerprobe bestand. Wie sich seit 1860 etwa die Ausgestaltung unseres Wissens von den Elementen vollzog, das zu schildern ist die Aufgabe, an welche wir nunmehr herantreten wollen. Erleichtert wird uns dieselbe wesentlich durch einen Vortrag, welchen A. Klemens Winkler (geb. 1838), der um diese Seite seines Faches in der neusten Zeit verdienteste Chemiker, 1897 vor der Chemischen Gesellschaft in Berlin hielt. Er behandelte darin die wechselvollen Geschicke der Elementenlehre im letzten Vierteljahrhundert.

Nicht unbedacht hatte erwähntermaßen Mendelejew die Auffindung neuer Elemente vorausgesagt, denn 1879 meldete L. F. Nilson (geb. 1840) das Scandium zur Aufnahme in die Reihe der nicht weiter zerlegbaren Körper an. Schon 1794 hatte der Schwede J. Gadolin ein merkwürdiges Mineral analysiert, dem die Mitwelt seinen Namen beilegte, und aus diesem Gadolinit wurden mit der Zeit auch noch andere Stoffe ausgeschieden, denen teilweise Elementareigenschaft zugesprochen werden sollte; übrigens haben sich nur das Yttrium und das von J. Ch. Galissard de Marignac (1817—1894) gefundene Ytterbium in dieser vermuteten Eigenschaft wirklich bewährt. Das Lucium von P. Barrère hat dagegen keinen Bestand auf die Dauer gehabt, und auch die von G. Krüß (1859—1895) und F. W. Schmidt mit viel Scharfsinn verteidigte Ansicht, daß Kobalt und Nickel keine eigentlichen Elemente, sondern Verbindungen eines noch zu ermittelnden Elementes, des Gnomiums, seien, hat wieder aufgegeben werden müssen. So sind auch Norvegium und Jargonium nur kurzlebige Pseudoelemente gewesen, wogegen über das angeblich mit außerordentlich hohem Atomgewichte begabte Russium, welches K. D. Chruschtschew 1887 einführen wollte, die Akten noch nicht geschlossen sind. Im Jahre 1898 machte eine Zeitlang das Ätherium von Ch. F. Brush einiges Aufsehen, weil es nach seines Entdeckers Meinung den leichtesten aller denkbaren Körper bilden, im ganzen Universum verbreitet und wahrscheinlich mit dem Lichtäther der Physiker identisch sein sollte; Crookes freilich identifizierte diesen

Idealstoff schlechtweg mit stark verdünntem Wasserdampfe. Das Ehepaar Ph. und S. Curie giebt sich in jüngster Zeit der Hoffnung hin, aus der Pechblende zwei neue Elemente, Polonium und Radium, isoliert zu haben; beide sollen in hohem Grade radioaktiv sein, d. h. die in Abschnitt XVI näher beschriebene Fähigkeit besitzen, welche dem Uran und anderen Stoffen eigen ist. F. Giesel hat sich darüber auf der Münchener Naturforscherversammlung ausgesprochen und zwar die Radioaktivität nicht bestritten, an der Elementarqualität dagegen gezweifelt und darauf hingedeutet, daß man möglicherweise Barymverbindungen vor sich habe. Wenn so das System der Primitivstoffe Bereicherungen erhalten sollte, über deren Echtheit zunächst keine Übereinstimmung herbeizuführen war, so ist auf der anderen Seite auch eines Versuches zu gedenken, durch den einem anscheinend fest anerkannten Elemente dieser sein Charakter streitig gemacht werden sollte. W. Fittica (geb. 1850) hat einen sehr wuchtigen Angriff dieser Art auf den Phosphor unternommen, und es schien fast — die betreffende Angelegenheit spielte erst 1900 —, als solle das scheidende Jahrhundert einer Errungenschaft beraubt werden, deren man sich seit Scheele erfreute. K. Winkler hat aber die Verteidigung der Elementareigenschaft des Phosphors übernommen und siegreich durchgeführt. Die Erbschaft beträgt mithin — wahrscheinlich, weil doch noch einzelne Fragen nicht als absolut geklärt gelten können — fünfundsiebzig Elemente; Gadolinium und **Therbium gelten noch als fraglich.**

Eine unangreifbare Entdeckung brachte das Jahr 1875, indem P. E. F. Lécoq de Boisbaudran (Abschnitt XII) das Gallium aus der Zinkblende gewann. Zehn Jahre später drang Auer von Welsbach zu der Überzeugung durch, daß das als Element angesehene Didym diese Bezeichnung nicht verdiene; er zerfällte es in Neodym und Praseodym, zwei Substanzen, die so lange als Elemente werden gelten müssen, bis der Beweis für das Gegenteil erbracht werden kann. Im Jahre 1886 endlich wurde die unter dem theoretischen Gesichtspunkte erfreulichste Entdeckung gemacht, die des Germaniums durch Winkler. Derselbe betont nachdrücklich, daß es sich nicht um das Ergebnis einer vom Glücke

begünstigten Experimentaluntersuchung handelte, sondern daß der Versuch erst dann einsetzte, als durch eine tiefe Analyse der periodischen Reihe von Mendelejew der Ort, an dem ein noch unbekanntes Element zu suchen war, seine Bestimmung gefunden hatte. Auch V. v. Richter war die Lücke, an welcher frühere Forscher achtlos vorübergegangen waren, nicht entgangen, aber erst Winkler füllte sie aus, und man wird ihm nur beipflichten können, wenn er seinen Fund zur Auffindung des nur aus seinen Gravitationswirkungen erkannten Planeten Neptun (Abschnitt V) in Parallele stellt. Nur sind diesmal Leverrier und Galle in einer Person vereinigt gewesen.

Die Systematik Mendelejews und L. Meyers gab mithin bei allen diesen Arbeiten über noch verborgene Elemente die Leitschnur ab, und die Mehrzahl der Sachverständigen möchte wohl noch vor kurzem geneigt gewesen sein, dies für selbstverständlich zu halten. Allein das Unerwartete ist thatsächlich eingetreten: seit vier Jahren kennt man eine Gruppe neuer Elemente, deren Atomgewichte sich dem periodischen Systeme nicht einfügen. Die ersten Nachrichten über diese Entdeckung, deren einzelne Stadien mit überraschender Schnelligkeit aufeinander folgten, entstammen dem Jahre 1894. Lord Rayleigh und Ramsay, die beiden uns als Physiker bereits bekannten Gelehrten, traten mit der Mitteilung hervor, daß sie dahin gelangt seien, ein neues, für gewöhnlich mit dem Stickstoff vorkommendes Gas von diesem zu scheiden; dasselbe wollte durchaus nicht mit anderen Körpern in Verbindung treten, und diese Sprödigkeit veranlaßte die Entdecker, es Argon („das träge") zu benennen. Man hatte nämlich bemerkt, daß der der Luft entnommene Stickstoff, mochte man bei seiner Isolierung auch mit aller nur möglichen Vorsicht zu Werke gegangen sein, eine andere, größere Dichte hatte, als wenn man ihn auf irgend eine andere der zahlreichen Arten darstellte, über welche die analytische Chemie verfügt. Somit war im atmosphärischen Stickstoff noch ein anderer, ein fremder Körper enthalten, und dieser war eben das Argon. Unverzüglich wurden die verschiedenartigsten Untersuchungen über den sonderbaren Fremdling angestellt: Olszewski prüfte ihn (Abschnitt XV) auf sein Verhalten

gegen Kälte und Druck und ermöglichte die Verflüssigung des Argons, während Crookes dessen Spektrum vornahm. Da zeigte sich denn eine auffallende Ähnlichkeit mit einem zweiten Körper, den man bisher nur unter dem astrophysikalischen Gesichtspunkte hatte betrachten können, mit dem sogenannten Helium, das sich, wie bekannt, durch seine eigentümliche, mit keinem der Fraunhoferschen Streifen zur Deckung zu bringende Linie im Gelb als Bestandteil der äußersten, dünnsten Schichten der Sonnenkugel zu erkennen gegeben hatte (Abschnitt XIV). Lord Rayleigh und Ramsay fügten ihrer ersten Entdeckung nun gleich noch die zweite, nicht minder wichtige hinzu, daß man das Helium auch aus irdischen Mineralkörpern gewinnen könne, daß es aber auch da stets mit dem Argon vergesellschaftet auftrete. Als solche Mineralien sind unter anderem der Uranitit, Broeggerit und in erster Linie der Cleveït zu nennen, den A. E. v. Nordenskiöld so nach seinem Kollegen, dem Mineralchemiker P. Th. Cleve in Upsala (geb. 1840), genannt hat. Überaus schnell wurden auch andere Methoden zur Darstellung von Argon bekannt gegeben. Guntz nahm statt des Magnesiums, dessen sich die Entdecker bedient hatten, das Lithium zu Hilfe; Th. Schloesing wies Argon in den schlagenden Wettern der Bergwerke, J. Richard wies es in der Schwimmblase der Fische nach. Dasselbe, immer das Helium mit inbegriffen, dessen Spektrum durch Runge und Paschen immer genauer studiert ward, besitzt folglich eine weit allgemeinere Verbreitung in der Natur, als man anfänglich glauben konnte. W. A. Tilden stellte 1896 die Hypothese auf, das Helium möge sich in sehr vielen Metallen vorfinden, allerdings nicht im freien, sondern in jenem eigenartig gebundenen oder okkludierten Zustande, den man schon wiederholt bei gasförmigen Körpern aufzuzeigen Gelegenheit hatte, wie denn z. B. Ramsay die Okklusion von Wasser- und Sauerstoff im Palladium zum Gegenstande eines besonderen Studiums gemacht hat. Die absolute Gleichartigkeit von Argon und Helium trat in den fortgesetzten Arbeiten von Ramsay und J. N. Collie immer deutlicher zu Tage, und A. Leduc konnte 1896 für deren Dichte einen der Wahrheit jedenfalls sehr nahe kommenden Wert ermitteln. Eine

neue und zwar ziemlich reichlich fließende Quelle zur Darstellung der beiden neuen Elemente eröffnete sich bald nachher (1898) durch die Beobachtung einiger italienischer Forscher, R. Nasini, F. Anderlini und B. Salvadori, denen zufolge Argon und Helium regelmäßig in den vulkanischen Gasexhalationen der Erdoberfläche zu finden sind, vor allem in den toskanischen Soffioni, welche die Industrie als wichtigste Lieferungsstätten von Borax und Borsäure kennt. Ja, es wurde sogar die Möglichkeit angedeutet, daß die Solfataren, Erdspalten, aus denen Schwefeldämpfe aufsteigen, zur Ermittlung noch eines weiteren Elementes, des Koroniums, verwertet werden könnten, und angesichts der mancherlei Funde, welche die Entdeckung des Argons unmittelbar nach sich zog, ist man diese Hoffnung nicht als illusorisch zu betrachten berechtigt. Mit großem Eifer wurden auch die schwierigen und zuerst wenig aussichtslosen Bemühungen fortgesetzt, den Widerstand des Argons gegen das Eingehen von Verbindungen zu brechen. Dies war das Arbeitsfeld Berthelots und H. Moissans (geb. 1852), der sich durch die Vervollkommnung der Technik, mittelst enormer Hitzegrade große chemische Effekte hervorzubringen, einen Namen gemacht hat. Gelang ihm doch 1896 die Erzeugung hämmerbarer Metallklumpen aus Wolfram im elektrischen Ofen! So hat er auch die schwierige Abscheidung des Fluors aus der Flußsäure, in welcher dasselbe mit Wasserstoff verbunden enthalten ist, elektrolytisch durchgeführt, und indem er nun Fluor mit Argon in stark erhitzten Platinröhren zusammenbrachte, schlossen sich in der That beide Elemente zur chemischen Verbindung aneinander. Hierher gehört auch V. Goldschmidts Aluminothermie wegen ihrer gewaltigen Erhitzungseffekte.

Die Argon-Helium-Gruppe war jedoch mit diesen beiden Grundstoffen noch nicht abgeschlossen, sondern rastlose Arbeit stellte noch drei neue Körper her, die sich gleichfalls dieser Gruppe zurechnen lassen. Zunächst sahen sich Ramsay und sein Mitarbeiter M. W. Travers zum Krypton geführt, welches spezifisch leichter als Argon, dagegen minder flüchtig als Sauerstoff, Stickstoff und Argon ist. Alsdann hörte man (1898) vom Neon und von einem selbst wieder im Argon enthalten gewesenen Elemente, Metargon

oder Xenon. Die Ankündigung, daß der berühmte schottische Naturforscher bei der Münchener Versammlung (1899) einen Vortrag über seine und Lord Rayleighs Entdeckungen in ihrer Totalität halten werde, bildete einen der Hauptanziehungspunkte jenes Kongresses, und die hochgespannten Erwartungen wurden nicht getäuscht. Die neue Gruppe setzt sich — einstweilen — aus fünf zuvor unbekannten Grundbestandteilen der Materie zusammen. Wir stellen dieselben noch einmal kurz zusammen, indem wir neben jedes Element die Zahlen des Atomgewichtes und der Dichte schreiben, so wie sie aus Ramsays Bestimmungen sich ergeben. Die Sondergruppe hat demnach folgenden Inhalt: Helium (4,0; 1,98), Neon (20,0; 10,00), Argon (40,0; 19,96), Krypton (81,6; 40,80), Xenon (128,0; 64,00). Die Einheit der Dichte liefert der Wasserstoff, und wir sehen also, daß das Helium ein ungemein leichtes und feines Gas ist, wie dies nach seinem Orte in der solaren Photosphäre vorauszusehen war. Auch für die Berechnung der kritischen Temperaturen der neuen Körper sind bereits vielversprechende Anfänge gemacht worden.

In der an Ramsays Vortrag sich anschließenden Diskussion wies Boltzmann darauf hin, daß das Studium dieser Gase, wegen ihrer besonders einfachen molekularen Konstitution, wertvolle Resultate für die gesamte Atomistik im Gefolge haben müsse. Und dies wird auch sofort einleuchten, wenn man sich vergegenwärtigt, daß nach weit verbreiteter Meinung der Zustand des einatomigen Gases der Primordialzustand der Materie ist, in dem sich dieselbe befand, als sich die von der Laplaceschen Kosmogonie angenommenen Verdichtungen erst vorbereiteten. Ungemein lohnend wird auch in der Zukunft der Versuch sein, die Schranken niederzureißen, welche zunächst noch die Genossenschaft der fünf neuen Elemente von dem Verbande der älteren trennen. Sollte es nicht eine Erweiterung des periodischen Gesetzes geben, welche sich auch auf die Einlaß fordernden neuen Ankömmlinge zu erstrecken vermöchte? J. Traube hat bereits 1895 den Anstoß zur Begründung eines neuen Systemes der Elemente gemacht, welches nicht nur die Atomgewichte, sondern auch die Volumverhältnisse als Kriterien verwerten will, und vielleicht liegt in dieser Richtung

der Keim einer Konkordanz, in deren Besitz das neue Jahrhundert zweifelsohne gelangen wird. Wer an kühnen Konjekturen Geschmack findet, die jedoch keineswegs mit uferlosen Spekulationen verwechselt werden dürfen, fühlt sich vielleicht auch an V. Meyers Rede auf dem Lübecker Naturforschertage (1895) gemahnt. Dieselbe behandelte die höchsten „Probleme der Atomistik“ und erhob sich in hohem Fluge zu einer Zukunftsepoche, die vielleicht den überkommenen Begriff der Elemente gänzlich beseitigt, die Zusammensetzbarkeit derselben aus einer neuen Klasse von Urkörpern erkannt und als das ihr vorschwebende Ziel die Analyse und Synthese der gegenwärtigen Elemente hingestellt haben wird. Die Lehre von den Elementen hat also im Jahre 1900 erst einen scheinbaren Abschluß gefunden, und es ist fraglich, ob dieser Abschluß im Jahre 2000 endgiltig und dauernd erreicht sein wird.

Nächst den Elementen erregen die Verbindungen unser Interesse. Die Menge derjenigen, welche in den chemischen Handbüchern beschrieben werden, ist eine so gut als unzählbare, und nur einige der wichtigsten, denen insbesondere eine theoretische oder eine einschneidende technische Bedeutung zukommt, können hier eine Stelle finden. Von der Flußsäure ward schon gesprochen; ist dieselbe wasserfrei, in welchem Zustande sie insbesondere G. Gore (geb. 1826) gegen das Ende der sechziger Jahre untersucht hat, so eignet ihr ein gefährlicher Grad von Explosibilität, und F. J. J. Nicklès (1820—1869) wurde durch eine derartige Katastrophe in seinem Laboratorium zu Nancy getötet. Neue Sauerstoffverbindungen fand Magnus auf, der uns als anregender Physiker früher schon entgegengetreten ist, aber auch als Chemiker genannt zu werden ein Recht hat. Mit merkwürdigen Verbindungen des Chlors hat uns K. A. A. Michaelis (geb. 1847) bekannt gemacht, dem im Jahre 1880 für seine ausgedehnten Arbeiten auf diesem Gebiete von der Leopoldinisch-Karolinischen Akademie der Naturforscher — der ältesten, seit 1652 bestehenden gelehrten Korporation unseres Vaterlandes — deren Cothenius-Medaille verliehen wurde. Die von E. Frémy (1814—1894) entdeckten Schwefelstickstoffsäuren haben in neuerer Zeit eine wichtige Rolle zu spielen begonnen, indem Wislicenus, F. Raschig und

Th. Curtius in dem hier einzureihenden Hydrazin charakteristische Eigenschaften ermittelten. Noch auffälliger war teilweise, was sich an gewissen Halogenverbindungen, vorab mit Stickstoff und Phosphor, herausstellte; das Trifluorid ist eine Entdeckung Moissans, das Pentafluorid eine solche Th. E. Thorpes (geb. 1845). Neue Molybdänverbindungen brachten Krüß und Muthmann zuwege, und ersterer hat auch das Gold in diesem Sinne zum Gegenstande erfolgreicher Arbeiten gemacht.

Wenn wir uns zu den organischen Körpern wenden, so brauchen wir nicht mehr ausdrücklich zu erinnern, daß die aromatischen Kohlenwasserstoffe, deren Natur durch die umfassenden Untersuchungen v. Baeyers und seiner Schule erschlossen wurde, zu tiefer Einsicht in die Struktur der betreffenden Körperklasse verholfen haben. Die ätherischen Öle sind seitdem einer regelrechten Systematik zugänglich gemacht worden. Ferner ist hier anzureihen die Frage nach der Konstitution der Anilinfarbstoffe, welche E. Fischer, zusammen mit Otto Fischer (geb. 1852), seinem Vetter und Nachfolger auf dem chemischen Lehrstuhle der Universität Erlangen, auf das Triphenylmethan als Grundsubstanz zurückgeführt hat. Die Alkohole hatten schon bei der Entwicklung der modernen Theorien durch Kolbe, Williamson und S. Cannizzaro (geb. 1826) sozusagen Gevatter gestanden und sind seitdem, ebenso wie die von Gerhardt und Kekulé ihnen zur Seite gestellten Phenole, das Zentrum einer selbständigen Arbeitsgruppe geblieben. Eine vielleicht folgenreiche künstliche Darstellung des Alkohols ist diejenige P. Fritzsches, der ihn (1897) aus dem Äthylen des Leuchtgases ableitete. Die von Chevreul musterhaft bearbeiteten Fettsäuren blieben viele Jahre eine Domäne der Liebigschen Schule, unter deren Vertretern Heintz, der Pflanzenchemiker F. Rochleder (1819—1874) und der Pharmazeut F. Varrentrapp (1815—1877) besonders zu nennen wären. Sodann zogen Kolbe und H. v. Fehling (1812—1885), der Erfinder der bekannten Härteskale des Wassers, auch die Karbonsäuren in Betracht, von denen die Benzoë- und Zimmtsäure, letztere ein Lieblingsobjekt der Forschung von W. H. Perkin (geb. 1838), am meisten in den Vordergrund traten. Sie gaben auch den Anlaß, die Ester

oder zusammengesetzten Äther näherer Beachtung zu würdigen. Wie wichtig das Bittermandelöl für die organische Chemie geworden, ist uns erinnerlich; im Mai 1832 schrieb Woehler seinem Freunde Liebig, daß er entschlossen sei, mit der an diesen Stoff sich knüpfenden „Konfusion" gründlich aufzuräumen, wenn er sich das Versuchsmaterial in hinlänglichem Vorrate verschaffen könne. So unscheinbar waren die Anfänge, aus denen die Lehre von den den Säuren zugeordneten Aldehyden entsprossen ist. J. v. Liebig, A. W. Hofmann, v. Fehling, Erlenmeyer haben diese Lehre gefördert, und dem Formaldehyd wird nach v. Baeyer eine hohe physiologische Tragweite zugesprochen werden müssen. Von den Aldehyden ist nur ein Schritt zu den Ketonen, zu deren Erklärung dereinst der junge Liebig den Grund gelegt hatte. Die Diketone sind von Fittig, K. Paal, L. Claisen (geb. 1851) analysiert und klassifiziert worden, und derselbe Chemiker hat, ebenso wie Wislicenus, Namhaftes für die Synthese der Ketonsäuren geleistet. Dieser Klasse, in welche viele offizinell wichtige Produkte gehören, steht jedenfalls noch eine große Zukunft bevor

Von der Befruchtung, welche die Theorie durch das eindringende Studium der Süßstoffe oder Glykosen empfing, hatten wir bereits zu sprechen. Auch hier ist v. Baeyer bahnbrechend vorangegangen; nächstdem aber traten besonders die Arbeiten von E. Fischer in der zweiten Hälfte der achtziger Jahre in den Vordergrund, dem auch die Synthese des Traubenzuckers gelang. Er entdeckte das Phenylhydrazin, dessen Verwendbarkeit für die Umformung der Kohlehydrate namentlich auch H. Kiliani (geb. 1855) vielfältig darthat. Das Saccharin, jenes wertvolle Versüßungsmittel, welchem gerade die für gewisse pathologische Zustände des menschlichen Organismus nachteiligen Bestandteile des Zuckers fehlen, erfand 1879 K. Fahlberg (geb. 1850), der sodann die großen Fabrikunternehmungen zu Salbke und Radebeul ins Leben rief, und Kiliani gab 1882 neue Herstellungsweisen dieses Stoffes an. Nicht vergessen dürfen auch werden die Jahrzehnte hindurch fortgesetzten Untersuchungen von F. Soxhlet (geb. 1848) über die Milchfette, zu denen noch (1886) der den Namen des Erfinders tragende Milchsterilisierungs-Apparat, eine

unschätzbare Wohlthat für Kinder zartesten Alters, hinzugetreten ist, und ebenso diejenigen von K. B. H. Scheibler (geb. 1827) über die Chemie des Rübenzuckers und über die Verwendung des Strontianits bei der Entzuckerung der Melasse, d. h. der Sirupresiduen. Von den Glykosen aus wurden dann auch die für alle organischen Körper wichtigen Glykoside unter neuen Gesichtspunkten studiert; H. Will (1812—1890), Liebigs Gießener Nachfolger, R. Piria (1815—1865), der Entdecker des Asparagins und Populins, und wiederum E. Fischer hatten da besondere Erfolge zu verzeichnen. V. Meyer und seine Schüler klärten die verwickelten Substitutionsvorgänge auf, welche eintreten, wenn Halogene mit Kohlenwasserstoffen verbunden werden, und ebenso sind aus dem Züricher und Heidelberger Laboratorium die viele Rätsel aufgebenden Nitrole (von 1874 an) hervorgegangen. Säuren, die statt Sauerstoff den ihn ersetzenden Schwefel aufweisen, waren zum öfteren untersucht worden, seitdem J. v. Liebig das von dem Altonaer Apotheker H. Zeise (1793—1863) entdeckte Merkaptan auf seine wahre Natur geprüft und in ihm Äthylsulfhydrat erkannt hatte; aber daß auch organische Säuren die gleiche Substitution erfahren könnten, bewies erst Kekulé, und im Anschlusse hieran hat sich ein neuer Studienkreis gebildet, der die Merkaptale und Merkaptole umfaßt. Wie so viele dieser Forschungen der Technik und Heilkunde großen Nutzen gebracht haben, so war dies auch hier der Fall, indem aus Merkaptan und Aceton das als Schlafmittel oft wunderbare Wirkungen erzielende Sulfonal komponiert ward. Von A. W. Hofmanns Arbeiten über Anilin mußte, weil deren Anfänge in die erste Jahrhunderthälfte fallen, Abschnitt IX berichten; ihre höchste Entfaltung nahmen dieselben jedoch erst in späterer Zeit, und davon ausgehend entstand unter des genannten Chemikers Ägide in Bonn und Berlin eine selbständige Lehre von den organischen Stickstoffverbindungen. Damit in Verbindung konnte sich auch die großartige Industrie der Azofarbstoffe ausbilden; Hofmann, Perkin, Erlenmeyer, E. und O. Fischer sind die geistigen Väter dieser Fabrikation, welcher in Deutschland hauptsächlich die zwar nicht der Konkurrenz entbehrenden, aber trotzdem die Führung behauptenden Etablisse-

ments von Ludwigshafen („Badische Anilin- und Sodafabrik") und Höchst a. M. („Farbwerke") dienen. G. Th. A. O. Schultz (geb. 1851) und R. Nietzki (geb. 1847) haben durch ihre großen Werke über diesen Teil der technischen Chemie deren Systematik wesentlich gefördert. Überaus inhalt- und umfangreich hat sich auch das anfänglich unscheinbare Kapitel der Cyanverbindungen und der unter der Einwirkung salpetriger Säure auf gewisse Salze gebildeten Diazoverbindungen gestaltet; auch hier hat A. W. Hofmann die Führung übernommen, und H. v. Pechmann, Bamberger, E. Carstanjen (1836—1884) sind ihm gefolgt. Aus dem therapeutisch unentbehrlichen Chinin, dessen Stellung im weiten Bereiche der Alkaloide J. v. Liebig präzisiert hatte, nachdem es schon 1820 durch P. J. Pelletier (1788—1842) dem Arzneischatze einverleibt worden war, hatte Gerhardt das Chinolin hergeleitet, und an dieser Substanz, wie auch an dem ihr nahe verwandten Pyridin, erprobte sich eine neue Auffassung der Beziehungen, in welche der Stickstoff substituierend zu anderen Körpern tritt. Die Arbeiten v. Baeyers haben auch die synthetische Darstellung des Chinolins ermöglicht. Bei anderen Pflanzenalkaloiden ist man bis zu dieser Krönung des Gebäudes noch nicht vorgedrungen, aber sobald man ihre Spaltungsprodukte kennt, darf man auch die Hoffnung auf eine wenigstens partielle Rekonstruktion hegen, so wie beispielsweise 1883 Ladenburg das Atropin, den von der Augenheilkunde mit suveräner Sicherheit zur Beeinflussung der Pupille verwerteten Extrakt der Tollkirsche, aus Tropin und Tropasäure herstellte. Ganz vollständig sind um die Mitte der achtziger Jahre Claisen und A. Lieben (geb. 1836) mit der Wiederzusammensetzung der Chelidonsäure zustande gekommen.

Ein neues weites Arbeitsfeld eröffnete sich der organischen Chemie durch die Bearbeitung von Pyrrol, Furfuran und Thiophen, Verbindungen, denen je ein aus vier Atomen Kohlenstoff und vier Atomen Wasserstoff zusammengesetzter Kern gemeinsam ist, wozu dann jeweils Sauerstoff, Stickstoff oder die Imidgruppe NH hinzutrat. V. Meyer, J. Ciamician, Limpricht, E. Fischer, Hantzsch u. a. haben die Kenntnis dieser Gebilde,

die schon des alten Scheele Aufmerksamkeit fesselten, beträchtlich ausgedehnt. Aus ihnen erschloß man die Azole, die wieder in einen neuen Formenkreis Einblick gestatteten. So kann sich dieser Teil der Chemie, und zwar in weit höherem Ausmaße, als dies für ihre ältere Schwester gilt, versichert halten, daß jede neue Entdeckung nur wieder die Thüre zu neuen Geheimnissen eröffnet. Insbesondere hat die von Kolbe und Frankland angebahnte Erkenntnis, daß auch Metalle mit Kohlenstoff zu Verbindungen zusammentreten, und daß sich so Organometalle bilden können, eine Fülle neuer Perspektiven gezeitigt, die das 20. Jahrhundert in vollendete Thatsachen umzusetzen berufen ist. Hierdurch fällt auch neues Licht auf die Erden, wie man in Anlehnung an eine freilich anders gemeinte Begriffsbestimmung des alten Chemikers Becher (17. Jahrhundert) die Oxyde und Oxydhydrate der Erdmetalle — Aluminium, Yttrium, Zirkonium u. s. w. — nennt. Solche Erden trifft man nicht selten an den allerverschiedensten Orten; nach Campbell-Swinton finden sie sich z. B. in Glühkörpern. Von W. Muthmann (geb. 1862) sind die seltenen Erden eingehendem Studium unterzogen worden.

Wie in Abschnitt IX, so soll es auch in diesem Kapitel unsere Aufgabe sein, den Anwendungen der reinen Chemie auf die verschiedensten Gebiete der Wissenschaft und Technik Rechnung zu tragen. Wir konnten es nicht vermeiden, solcher Verwertungen theoretischer Erfolge auch schon im bisherigen Texte zu gedenken, allein die Erwähnung war stets nur eine gelegentliche und thut dem Zusammenhange der die nächsten Seiten erfüllenden Darstellung kaum irgendwelchen Eintrag. Von der physikalischen Chemie sehen wir zunächst ab, denn diese noch jugendliche Wissenschaft hat sich die Selbständigkeit erworben und verlangt ein besonderes Kapitel. Auch die Mineralchemie, der Th. Behrens (geb. 1842) ein wertvolles Lehr- und Lernmittel („Mikrochemische Analyse", Braunschweig 1895) zur Verfügung gestellt hat, wird am besten in Verbindung mit der Mineralogie abgehandelt werden. Dagegen sollen die physiologische Chemie, dies Wort im weitesten Sinne genommen, und die technische Chemie in dem bescheidenen Um-

fange schon hier zur Besprechung gelangen, der durch die allgemeinen Verhältnisse geboten erscheint.

Die zweite, mit der Übersiedelung nach München anhebende Periode in J. v. Liebigs Leben kann als die agrikulturchemische bezeichnet werden. Bis zu seinem Auftreten herrschte die von N. Th. de Saussure (1767—1845) und Ch. J. A. Mathieu de Dombasle (1777—1843) vertretene, von dem vielverdienten deutschen Agronomen A. Thaer (1752—1828) in ein System gebrachte Anschauung, daß die Pflanzen aus dem sogenannten Humus organische Stoffe in sich aufnähmen und sich auf solche Art ernährten. Seit 1840 lag der Führer der deutschen Chemiker gegen diese Lehre im Felde, gegen die er folgerichtig geltend machen konnte, daß sie die anerkannt guten Erfolge der Mineraldüngung durchaus nicht zu erklären imstande sei. Seinen älteren Schriften ließ v. Liebig in München ein neues programmatisches Werk („Die Grundsätze der Agrikulturchemie mit Rücksicht auf die in England angestellten Untersuchungen", Braunschweig 1855) nachfolgen, wozu ihm die „British Association" Material geliefert hatte, und hier stellte er die Beweise für die von ihm schon früher verteidigte These zusammen: „Die Nahrungsmittel aller grünen Gewächse sind unorganische Substanzen". Mit seinem deutschen Fachgenossen kam in allen wichtigen Fragen überein der durch seine geologischen Kenntnisse und reichen Reiseerfahrungen in fremden Ländern mit vollster Kompetenz ausgerüstete J. B. Boussingault (1802—1886), von dem man neben einem einflußreichen Lehrbuche („Économie rurale, agronomie, chimie agricole et physiologique", Paris 1864) auch eigenartige, zumal das phänologische Moment berücksichtigende Untersuchungen über den Weinbau besitzt. Die Grundsätze v. Liebigs, aus denen dann natürlich auch neue Gesichtspunkte für die Aufsaugung mineralischer Substanzen durch verschiedene Bodenarten hervorgingen, haben nicht bloß in Deutschland Schule gemacht, wiewohl deutsche Agrikulturchemiker die Weiterbildung dieser Lehren am eifrigsten in die Hand genommen haben. Als einer der der Zeit und dem Range nach ersten unter jenen ist J. A. L. W. Knop (1817—1891) zu nennen, der dieses Fach an

der Leipziger Universität in die neuen Bahnen lenkte. Des ferneren nennen wir E. Th. v. Wolff (1818—1896), der sich durch seine Aschenanalysen (1880) bekannt gemacht hat, J. W. J. Henneberg (1825—1890), der zusammen mit F. K. A. Stohmann (1832 bis 1897) auch die Tierfütterung auf eine chemisch-rationelle Basis zu stellen bestrebt war, J. A. Lehmann (1825—1894), von dessen Laboratorium an der technischen Hochschule in München lebhafte Anregung ausging, und L. R. H. Ph. Zoeller (1832—1885), der die neugegründete „Hochschule für Bodenkultur" in Wien in Flor brachte. Die Bedeutung der Kalisalze für die Landwirtschaft hat 1880 M. H. Maercker (geb. 1842) ins richtige Licht gestellt, und A. E. Mayer (Abschnitt XVII) hat die Lehre von den Fermenten (Enzymologie) durch seine 1882 publizierte Schrift für diesen Teil der angewandten Chemie zu ihrem Rechte erhoben. Der Umstand, daß die in neuen Aufschwung gekommene Kolonialpolitik die Verhältnisse fremder, namentlich heißer Länder und die Bedingungen des Urbarmachens eines von Hause aus unfruchtbaren Lateritbodens zu studieren nötigte, schuf eine neue Theorie der Tropenagrikultur, für die H. Semler (Wismar 1886—1893) und F. Wohltmann (Leipzig 1892) thätig waren. Die Agrikulturchemie berührt sich hier aufs nächste mit der Agrikulturphysik (Abschnitt XVII), wie denn die Theorie der Humusbildung, die Wollny, Ramann und verschiedene russische Vertreter der Bodenkunde in den neunziger Jahren begründeten, sowohl nach der physikalischen, wie auch nach der chemischen und geognostischen Seite gleichmäßig gravitiert.

Die lange gehegte Überzeugung, daß mit den Liebigschen Theorien das endgiltig letzte Wort gesprochen und der Chemie im Bereiche der Bodenbearbeitung die allein beherrschende Stellung zugeteilt werden müsse, ist immerhin in neuerer Zeit ins Schwanken geraten. Aus landwirtschaftlichen Kreisen regte sich Opposition gegen die rein anorganische Erklärung der Bodenmüdigkeit, d. h. des Umstandes, daß ein viele Jahre lang mit der nämlichen Fruchtart bestellter Acker nach und nach an Ertragsfähigkeit verliert. Der vielgereiste Ch. A. Müntz (Abschnitt XVII), chemischer Dirigent des „Institut national agronomique" in Paris, wies zuerst 1882

auf die atmosphärische Nitrifikation und auf die nicht zu unterschätzende Mitwirkung von Mikroorganismen bei der Gesteinszersetzung und Bodenbildung hin. Selbstverständlich sind dies ja zuletzt auch chemische Prozesse, mit deren Aufhellung sich verschiedene deutsche Gelehrte, wie H. Hellriegel und H. Wilfarth (1888), beschäftigt haben, aber daß diese Prozesse bei der Beteiligung von Lebewesen einen anderen Verlauf nehmen, als wenn ausschließlich die chemischen Anziehungskräfte thätig sind, läßt sich nicht in Abrede stellen.

Für die Pflanzenchemie sind insbesondere die neuen Untersuchungen über den grünen Farbstoff, das Chlorophyll, maßgebend geworden, die man A. Faminzyn (geb. 1835), W. Pfeffer (geb. 1845), Th. W. Engelmann (geb. 1843), dem Entdecker des tierischen Chlorophylls (1883), u. a. verdankt. Auch v. Baeyers schon erwähnte Aufschlüsse über das Formaldehyd kommen hier in Frage, wie nicht minder Mulders und Erlenmeyers Untersuchungen über die Eiweißstoffe; mit ausdauerndem Eifer wurde das Vorkommen von Eiweiß in den verschiedensten Pflanzenkörpern, zumal in den Samen, von K. H. L. Ritthausen (geb. 1826) nachgewiesen („Eiweißkörper der Getreide, Hülsenfrüchte und Ölsamen", Bonn 1872). Den Gerbstoff und das stark abstringierende, aus verschiedenen vegetativen Produkten (Galläpfel) hergestellte Tannin würdigt eine Monographie von G. Kraus (1889). Nahe verwandt mit der Phytochemie ist die Zoochemie, deren systematische Entwicklung wir früher in zwei Etappen — Berzelius; v. Liebig und v. Gorup-Besanez — betrachtet haben, während sie in dem uns jetzt angehenden Zeitabschnitte durch die 1871 und 1883 von E. F. J. Hoppe-Seyler (1825—1895) herausgegebenen Werke ihre wissenschaftliche Formulierung gefunden hat. Auch da steht natürlich die Analyse und Synthese der Eiweißkörper, an der neben der eigentlichen Chemie auch die den therapeutischen Wert der Heilmittel physikalisch-chemisch prüfende Pharmakologie Anteil nimmt, im Vordergrunde. Zwei uns aus dem vorigen Abschnitte bekannte Physiologen, Brücke und Kühne, sind bekannte Vertreter dieser Arbeitsrichtung; ihnen reihen sich an H. F. E. Drechsel (geb. 1873), der in mehrfachem gelehrtem Kampfe gegen J. L. W. Thudichum

(geb. 1829) die Chemie der Gehirnstoffe begründete, F. M. E. Harnack (geb. 1852), dessen Darstellung des Eieralbumins ihm einen Namen gemacht hat, und P. Schützenberger (1829—1897), von dem vorzugsweise die Abhandlungen über Albuminoide Erwähnung fordern. Das ältere bedeutende Handbuch dieser Disziplin, J. E. Schloßbergers (1819—1860) „Versuch einer allgemeinen und vergleichenden Tierchemie“ (Leipzig-Heidelberg 1857) hat jedoch noch immer keinen ganz analogen Nachfolger gefunden. Schloßberger war es auch, der das Fleisch chemisch bearbeitete, und hierin sind ihm unter dem chemischen Gesichtspunkte Strecker und J. J. Scherer (1814—1869), unter dem mehr physiologischen Brücke und K. v. Voit (geb. 1831) gefolgt, welch letzterer jetzt allgemein als die erste Autorität in allen die menschliche Ernährung betreffenden Fragen betrachtet werden dürfte. Die Fette und Kohlehydrate, von denen bereits bei der Theorie der Süßstoffe die Rede war, sowie die Stärke fallen gleichfalls in das Gebiet der Zoochemie; von R. H. Chittenden (geb. 1856) rührt eine wertvolle Analyse des Magensaftes her. Über tierischen Harnstoff arbeiteten (1859) G. A. K. Staedeler (1821 — 1871) und der Kliniker F. Th. Frerichs (1819—1885), dessen berühmte Methoden zur Diagnostizierung und Heilung der Zuckerruhr gleichfalls ganz auf chemisch-physiologischem Boden fußen. Der Chemie der Galle ist v. Gorup-Besanez auch im gegenwärtigen Zeitraume treu geblieben, und Strecker, sowie L. R. Maly (1839 bis 1891), der auch die Knochenchemie pflegte, wirkten auf dem gleichen Felde. Das Blut ist nach zwei Richtungen hin chemisches Untersuchungsobjekt; auf der einen Seite handelt es sich um die Bestimmung der Zusammensetzung (Hämoglobin) und der Umstände, unter denen es gerinnt, und auf der anderen um die Blutgase. E. A. Schmidt (geb. 1845), Hoppe-Seyler und Preyer sind im ersteren, Magnus und K. F. W. Ludwig (1816 bis 1895) im anderen Sinne als Vorkämpfer zu nennen. Aus der im engeren Begriffe tierischen Chemie ist, immer unter der Einwirkung Liebigscher Ideen, eine generelle Theorie des organischen Stoffwechsels geworden, die als solche aus dem Bereiche dieses Buches hinausfällt. Nur die Thatsache, daß sich Fett

aus Eiweißkörpern bilden kann, sei noch als eine sehr bemerkenswerte Entdeckung E. F. W. Pflügers (geb. 1828) verzeichnet.

Die medizinische Chemie kann aus gleichem Grunde nicht Objekt der Besprechung werden; es sind besonders die antiseptischen und aseptischen Methoden, die in Betracht kommen und die Mittel angeben, um die Fäulnis entweder zu bekämpfen oder gleich gar nicht aufkommen zu lassen. Wie nahe allerdings Pathologie, Physiologie und Chemie sich berühren, mag daraus erhellen, daß die wichtigsten Aufschlüsse über Natur und Funktion der Schilddrüse von dem Freiburger Chemiker Baumann gegeben worden sind. Auch die pharmazeutische Chemie geht über unseren Rahmen hinaus oder berührt sich mit unseren Aufgaben doch nur insofern, als sie der Nahrungsmittelchemie nahe steht. Für diese Verbindung beider Zweige hat erfolgreich A. Hilger (geb. 1839) gearbeitet, von dem 1882 eine viel benützte Anweisung zur Erkennung der Speiseverfälschungen verfaßt wurde. Seinen Bemühungen ist auch die Jahresversammlung der deutschen Vertreter der angewandten Chemie zu danken, die der Gesetzgebung schon mehrfach in dankenswerter Weise unter die Arme gegriffen hat. Die Toxikologie, deren wissenschaftliche Anfänge Abschnitt IX vorführte, ist durch Husemann, Dragendorff, Kiliani, A. F. Duflos (1802—1889) als wichtiger Zweig der praktischen Chemie gefördert worden, und der letztgenannte hat in seiner Anleitung zur Analyse der in der forensischen Medizin eine Rolle spielenden Gifte (Leipzig 1873) dem Gerichtsarzte ein wertvolles Hilfsmittel in die Hand gegeben. Als Gerichtschemiker ist besonders F. L. Sonnenschein (1819—1879) hervorgetreten.

Für die Heilkunde ist indirekt nicht minder von hohem Werte genaue Kenntnis der Erscheinungen der Gärung. Als chemischer Betrachtung zugänglich hat dieselben zuerst Lavoisier erkannt, und J. v. Liebig führte die Theorie so weit, als sie sich bei seiner scharf anorganischen Auffassung dieser Metamorphose überhaupt führen ließ. Hier jedoch, wie in der Lehre vom Pflanzenbau, hatte er ein wesentliches Moment übersehen, nämlich die Aktion organischer Wesen, und so mußte die mechanisch-chemische

Doktrin wenigstens teilweise die Segel streichen vor der vitalistischen, welche die vorher geringgeschätzten Hefepilze als einen überaus kräftig wirkenden Faktor nachwies. Der große Zellenforscher Th. Schwann (1810—1882), Entdecker des Pepsins, und der durch seine Aufdeckung der Rolle der Essigmutter bei der Essigbereitung bekannt gewordene Mykologe F. T. Kützing (1807—1893) machten den Anfang, aber Pasteur und K. W. v. Naegeli (1817—1821) lenkten die Wissenschaft in die gegenwärtig von ihr innegehaltenen Bahnen. E. Ch. Hansen hat in Deutschland den chemisch-physiologischen Standpunkt im Jahre 1890 kräftig betont, während J. v. Liebig der Organologie keine Konzession machen wollte. Gewiß giebt es auch nach Pasteur Fermente, welche nicht belebter Natur sind, und in allerneuester Zeit wurden Beobachtungen des so gründlichen Bakteriologen H. Buchner (Abschnitt XVII) vorgelegt, welche der älteren Auffassung sogar wieder eine größere Berechtigung zurückzugewinnen scheinen. Jedenfalls ist die Kenntnis der Fäulnisprodukte und der als Träger gefährlicher Krankheitserscheinungen — Leichengift u. s. w. — gefürchteten Ptomaïne bedingt durch das Bild, welches man sich vom Wesen der Fermentation gemacht hat. M. v. Nencki (geb. 1847), Hoppe-Seyler, Th. Husemann (geb. 1833), J. G. N. Dragendorff (geb. 1836) und J. Guareschi (geb. 1847) gehören zu den Forschern, aus deren Resultaten die gerichtliche Medizin mannigfachen Nutzen zog und noch zieht. Die stereochemische Enzymtheorie, 1894 von E. Fischer und H. Thierfelder angebahnt, hat jedenfalls eine große Zukunft.

Wenn wir nunmehr zur technischen Chemie übergehen, so ist die Anknüpfung von selbst durch die Gärungsgewerbe gegeben. Die Herstellung des Spiritus, bei der es sich ja in erster Linie darum handelt, die sogenannte Maische durch zugesetzte Hefe in Gärung zu bringen, ist litterarisch von vielen Schriftstellern behandelt worden, unter denen Maercker und M. E. J. Delbrück (geb. 1850), Herausgeber der „Zeitschrift für Spiritusindustrie“, besonders namhaft zu machen sind. Nahe verwandt ist der Brauprozeß, dessen Theorie Hansen, V. Grießmayer und K. Lintner in neuerer Zeit mit der organischen Chemie überhaupt in enge

Beziehung gesetzt haben. Der zuletzt genannte Chemiker widmete zahlreiche Abhandlungen der sogenannten Diastase (διάστασις, Trennung), einem der nicht organischen Fermente, welchem die Eigenschaft zukommt, Stärke in Dextrin (Stärkegummi) und Maltose (Malzzucker) zu zerfällen. Die Zusammensetzung des Stoffes aus Kohlen=, Sauer=, Wasser= und Stickstoff ist zwar in den Hauptzügen bekannt, erheischt aber doch noch von der Zukunft Klarstellung vieler Einzelheiten. Mit K. Lintner, Vater und Sohn, teilten sich in die Aufgabe, das Wesen der Diastase vollständig zu entschleiern, A. Payen (1795—1871) (1861) und A. v. Wroblewski (1898). Verhältnismäßig viel zu wünschen übrig läßt noch die den wichtigsten Bestandteil der Önologie bildende Weinchemie, obwohl es an Anstrengungen, auch sie zu einem ganz exakten Wissenszweige zu erheben, nicht gemangelt hat. Pasteur, H. und R. Goethe, W. v. Hamm (1820—1880) und nicht zum wenigsten A. W. v. Babo (geb. 1827), der Sohn des selber um die wissenschaftliche Rebkultur sehr verdienten Agronomen L. J. L. v. Babo (1790—1862), sind die Repräsentanten dieser noch manche Geheimnisse in sich schließenden Abteilung der angewandten Chemie. Mit Rücksicht auf das, was sie bisher schon geleistet, darf man große Hoffnungen setzen auf die önologischen Lehr= und Versuchsanstalten, wie sie zu Geisenheim a. Rh. und zu Klosterneuburg nächst Wien bestehen, letztere unter der Leitung A. W. v. Babos und L. Roeslers (geb. 1841). Wer sich für die Gesamtheit der hier konkurrierenden Fragen interessiert, dem sind M. Delbrücks „Fortschritte der Gärungschemie“ (1898) zu empfehlen.

Die historische Kontinuität brachte es mit sich, auf gewisse in die Augen fallende Errungenschaften der Farbenindustrie schon oben Bezug zu nehmen, so daß hier nur noch eine Nachlese übrig bleibt. So wurde namentlich die Erzeugung von Theerfarben durch v. Hofmann, E. und O. Fischer, K. Heumann (geb. 1850) beleuchtet; ihr zur Seite steht die Synthese des Alizarins durch Graebe und Liebermann, wodurch der einst blühende Krapp=Bau in Südfrankreich ebenso vernichtet ward, wie andererseits die Anilinfarben die Produktion von Cochenille in Mittelamerika schädigten, und wie die Waidpflanze der deutschen Vergangenheit vor den blauen

Pigmenten der Gegenwart kapitulieren mußte. Das Ultramarin hatte, wie an seinem Orte berichtet ward, zeitweise einen vollständigen Sieg errungen, aber auch ihm erstand ein gefährlicher Feind im Anilin, und die nähere Zukunft ist vielleicht so glücklich, die vollen — einstweilen noch durch äußere Umstände an der Reife behinderten — Früchte des Umstandes zu ernten, daß v. Baeyer es dahin brachte, Indigo auf künstlichem Wege darzustellen. Auch in diesem Falle hat sich die den Abkömmlingen des Theers eingepflanzte Kraft bewährt. Endlich sind auch noch die — gleichfalls auf v. Baeyer zurückzuführenden — Eosinfarbstoffe anzuführen, die in ihren verschiedenen Nuancen eines prächtigen Rot für die Färberei sehr ins Gewicht fallen. Die Kunst des Färbens ist in der Neuzeit mehr und mehr mit dem Geiste der Wissenschaft durchtränkt worden, und eben dieses läßt sich von der Gerberei behaupten, deren chemische Prinzipien zuerst 1858 F. L. Knapp (geb. 1814) bestimmt präzisiert hat, indem er die Analogien zwischen Färben und Gerben ins richtige Licht setzte. Hier wäre, falls dies möglich wäre, auch der Ort zu einer näheren Charakterisierung der Heiz- und Beleuchtungsindustrie, allein diese Dinge wurden schon früher da und dort gestreift, und ein Überblick über die jetzt gangbaren Ansichten betreffs der Herkunft der Erdöle bleibt zweckmäßig dem geologischen Abschnitte aufgespart. Die Gasanalyse, zu der Bunsen in so ausgezeichneter Weise den Grund gelegt hatte, wurde von K. Winkler (1877) und W. M. Hempel (geb. 1851) (1890) weitergebildet.

Zu denjenigen Artikeln, die sich ganz besonders zur Massenproduktion eignen, gehören an erster Stelle Schwefelsäure und Soda, letztere ein Natriumkarbonat, welches gelegentlich als fertiges Produkt in der Natur vorkommt, zumeist aber, weil man seiner zu Reinigungszwecken in großen Mengen bedarf, künstlich hergestellt werden muß. Das schon gegen Ende des 18. Jahrhunderts aufgekommene Verfahren von N. Le Blanc (1742—1806) vermochte nicht durchzudringen, weil die Seifensiederei, als das zunächst beteiligte Handwerk, lange nicht überzeugt werden konnte, daß die künstliche mit der natürlichen Soda wohl wetteifern dürfe, ja

diese sogar weit übertreffe. Erst J. S. Muspratt (1821 bis 1871) gelang die völlige Beseitigung des alten Vorurteiles, und die Bereitung der besonders leistungsfähigen Ammoniaksoda durch E. Solvay drängte allmählich das ältere Verfahren zurück. Für die Gewinnung größerer Massen von Schwefelsäure war natürlich die Ermittlung ihrer chemischen Zusammensetzung durch Clément und Desormes erste Vorbedingung; hierauf setzten die Arbeiten von F. R. v. Weber (1829—1894), K. Winkler, G. Lunge (geb. 1839) ein, und die rein technische Seite, welche bereits mit der Einführung des Bleikammersystemes (1807) in eine neue Etappe eingerückt war, gewann noch mehr durch die Erbauung der — nach ihren Erfindern so genannten — Gay-Lussac- und Glover-Türme, hoher rechtwinkliger Prismen aus Blei, deren Innenraum Gitter aus säurebeständigen Ziegeln aufweist, und in welche die heißen Gase von unten her einströmen. Für die Verwertung der Röstgase hat Winkler vor ungefähr zwanzig Jahren neue Wege gewiesen. Auch die bisher nur subsidiär ausgenützte schweflige Säure hat sich eine höhere Beachtung errungen, seitdem man sich ihrer zur Herstellung von Sulfitcellulose im großen bedient.

Die Salzsäure findet ihre Ausnützung vorwiegend bei der Bereitung von Chlorkalk. Die Darstellung von Chlor leitete H. Deacon (1822—1876) im Jahre 1872 in neue Wege, während auch für Brom statt der älteren, nur geringe Quantitäten liefernden Extrahierung aus dem Meerwasser verbesserte Methoden ausgemittelt wurden. Insbesondere wies A. Frank in den Staßfurter Abraumsalzen, mit deren konsekutiv in Schichten erfolgendem Niederschlage aus dem tertiären Meere sich R. Pfeiffer und neuestens van t'Hoff beschäftigt haben, ein Material nach, dem jenes Element weit bequemer entnommen werden kann. Aber auch die Gewinnung von Salpetersäure nahm stattliche Dimensionen an, seitdem man die Kalisalzlager von Staßfurt und Leopoldshall zur freien Verfügung hatte. Namentlich wird ja aus dem geologisch jüngsten Stoffe, dem Kainit (καινός, neu), und dem in Abschnitt X erwähnten Carnallit der künstliche Dünger gewonnen, der in seinen Wirkungen dem aus der Wüste Atacama

und von den angrenzenden chilenischen Gebieten zu uns gebrachten Natronsalpeter kaum nachsteht. Die Bildung dieses letzteren erklärte K. Ch. Ochsenius (geb. 1830) durch Ablagerung in einer von Barren umschlossenen Strandlagune unter Zutritt von Vogelguano. Der genannte Geologe hat überhaupt die Bedeutung der Barrenbildung für das Zustandekommen von Salz- und Kohlenlagern von einem neuen und einheitlichen Standpunkte aus zu betrachten gelehrt („Bildung der Steinsalzlager und ihrer Mutterlaugensalze“, Halle a. S. 1877).

Den Explosivkörpern wiesen wir in Abschnitt IX ihren Platz in dem kurzen Absatze über physikalische Chemie an. Jetzt ist dies anders, die Lehre von den Schieß- und Sprengstoffen ward ein umfänglicher und wichtiger Bestandteil der chemischen Technologie, dessen Bedeutung die wenigen Worte, die wir ihm zu widmen in der Lage sind, nicht entsprechen. Der Schießbaumwolle freilich eignet, seitdem das Pulver — Pellet-Pulver, prismatisches Pulver, Gaëns-Pulver für speziell artilleristische Zwecke — außerordentlicher Verbesserungen teilhaftig geworden ist, mehr nur theoretischer Wert. F. Heeren (1803—1885), der zusammen mit K. Karmarsch (1803—1879) das jetzt in drei Auflagen vorliegende „Technologische Wörterbuch“ herausgab, hat auf die Schießbaumwolle besonderen Fleiß verwendet, während die Physik und Chemie aller hierher gehörigen Stoffe F. Boeckmann (geb. 1853), auch durch seine Forschungen über das Celluloid bekannt, zusammenhängend behandelte („Die explosiven Stoffe“, Wien 1880). Die Pulvergase analysierte, einer Anregung Bunsens folgend, L. Schischkow (geb. 1830) im Jahre 1857, nachdem er zuvor die Jugendarbeiten v. Liebigs über das Knallquecksilber fortgeführt hatte. Noch wichtiger für Sprengungen wurde 1867 A. Nobels (1832—1896) Erfindung des Dynamits, einer festen Masse, die durch Vermengung des Nitroglyzerins (Abschnitt IX) mit Kieselguhr (Abschnitt X) entsteht und potentiell die furchtbarsten Kraftwirkungen in sich schließt. Die unleugbar hohe Gefährlichkeit wurde 1888 von dem Erfinder durch Verbringung der Masse in den gelatinierten Zustand beträchtlich vermindert, und Nobel war auch so glücklich, ein rauch- und knallschwaches Pulver

herzustellen, mit dessen Einführung die Schlachtfelder der Zukunft eine von der bisher gewohnten wesentlich abweichende Physiognomie erhalten dürften. In einigen Fällen ist diese auf dem Manöverfelde seit mehreren Jahren gemachte Erfahrung auch durch die Erscheinungen des wirklichen Krieges bestätigt worden. Dem Dynamit dagegen scheint allerneuestens in der flüssigen Luft (Abschnitt XV) ein zu fürchtender Nebenbuhler erstehen zu wollen.

Der chemische Prozeß, der bei der Erzeugung des Glases in Frage kommt, ist von Knapp, R. Weber, Heeren, Mylius u. a. der Forschung zugänglich gemacht worden, und aus diesen Arbeiten entsprang auch so mancher Vorteil für die Praxis. Hervorgehoben sei nur Royer de la Basties Erfindung des überaus verwendbaren Hartglases (1874). Die Versilberung des Glases machten v. Liebigs Studien (Abschnitt XVI) möglich; die Färbung von Gläsern wurde von Woehler chemisch erläutert, und auch die Herstellung der zur Glasmalerei erforderlichen Farben, für die man vor vier- bis fünfhundert Jahren manches uns noch verschlossene Geheimnis besessen zu haben scheint, konnte nicht ohne Appell an die Unterstützung der Chemie erfolgen. Der Thonindustrie liehen K. Bischof (geb. 1812), ein hervorragender Hüttenmann, und späterhin Seger ihre Dienste. Chemische Unterlage kommt auch der von den Bautechnikern in ihrer Art kultivierten Darstellung der Cement- und Mörtelarten zu, wie eine Spezialschrift von Michaelis (1869) beweist. Das Betonisieren gehört gleichfalls hierher, indem nur der dadurch entstandene Stoff nicht als Bindemittel, sondern als selbständiger Baustoff Dienste zu thun hat.

Großartige Aufgaben sind in unserem Halbjahrhundert vor allem der metallurgischen Industrie vorbehalten gewesen. Was den Hochofenprozeß angeht, dessen wissenschaftliche Theorie mit Bunsens Analyse der sogenannten Gichtgase (Abschnitt IX) ihren Anfang nahm, so hat hier das Bessemer-Verfahren, dem Abschnitt XII unter dem spektroskopischen Gesichtspunkte Rechnung trug, die Stahlfabrikation seit 1856 in ein ganz neues Fahrwasser geleitet. Den Erhitzungsvorgang lohnender zu gestalten, erfand Werner Siemens 1852 das auf einem neuen Prinzipe des Vorwärmens beruhende Regenerativverfahren, und mit

dessen Hilfe ließen sich die ungeheuren Hitzegrade dauernd erzielen, mit denen in den Gußstahlfabriken Essens — F. Krupp, 1787—1826; A. Krupp, 1812—1887, F. A. Krupp, geb. 1854, Vereiniger der Krupp-Werke mit den Gruson-Werken — gearbeitet werden muß, um den spröden Stoff in die zahllosen Formen zu bringen, in denen ihn der Mensch gebraucht. Aus Roheisen Puddelstahl zu transformieren, hatte man früher schon gelernt. Daran schloß sich 1878 ein neuer, tief eingreifender Fortschritt, indem S. Thomas (1850—1885) ein Mittel ersann, die für die meisten Eisenarten höchst wünschenswerte, nur schwedischem Eisen gegenüber nicht unbedingt notwendige Entphosphorung durchzuführen. Das geistvolle Verfahren, bei dessen Nutzbarmachung P. Gilcrist als Chemiker mitwirkte, ist von um so größerer volkswirtschaftlicher Bedeutung, weil die wertlos erscheinenden Rückstände als Thomasschlacke ein überaus beliebtes Düngungsmittel abgeben, wie A. Frank und P. Wagner zeigten. Die Metallurgie des Nickels wurde durch die Bedürfnisse der Münzstätten und der Geschmeidefabrikanten auf eine höhere Stufe gehoben, und das Platin, welches ja das vielleicht wichtigste Metall für die chemische Großindustrie darstellt, machte H. J. Debray (1827—1888) zum Objekte einer hierfür bahnbrechenden Untersuchung, welche 1859 von den „Annales“ veröffentlicht wurde. Auch die Edelmetalle haben den Metallurgen Arbeit genug gegeben; vornehmlich als es sich darum handelte, das Gold aus den umhüllenden Erzen abzuscheiden, wofür Mac Arthur und Forrest, veranlaßt durch die vielversprechenden südafrikanischen Goldfunde, vervollkommnete Methoden angegeben haben.

Indem wir noch, als auf ein den modernen Stand dieses Teiles der Scheidekunst trefflich kennzeichnendes Werk, auf W. Borchers (geb. 1856) „Elektrometallurgie“ (1891), verweisen, beschließen wir unsere Überschau über die neueren Fortschritte der technischen Chemie. So aphoristisch dieselbe war, so wird sie doch von dem unermeßlichen Reichtume und von der staunenswerten Expansivkraft dieser Grenzdisziplin zwischen reiner Chemie und eigentlicher Technologie, die ja unseren Zielen entrückt ist, einen Begriff vermittelt haben, und mehr anzustreben, verbot sich von vornherein.

Zur Abrundung dieses Abschnittes übrigt uns noch ein Rückblick auf den Entwicklungsgang des chemischen Unterrichtes, der ja seit fünfzig Jahren den mächtigsten Aufschwung genommen hat.

Wissenschaftlich bedeutende und didaktisch brauchbare Werke, die sich dem augenblicklich gewonnenen Standpunkte der Erkenntnis anzupassen verstanden, hat es von je her genügend gegeben. Als der in Rede stehende Zeitraum begann, waren die klassischen Lehrbücher eines Thénard, Regnault, Woehler, Mitscherlich im Gebrauche, aber eine neue Zeit erheischte auch neue Hilfsmittel. An Regnault hielt sich Strecker, dessen „Kurzes Lehrbuch der Chemie" (Braunschweig 1851) zahlreiche Auflagen erlebt hat, indem zuletzt Wislicenus als Herausgeber in die Lücke trat. Th. Grahams „Elements of Chemistry" wurden von Otto auf deutschen Boden verpflanzt, so daß Graham-Ottos „Ausführliches Lehrbuch der Chemie" (Braunschweig, von 1868 an) zwei Nationen chemisch bilden half. Speziell der anorganischen Chemie leisteten Ira Remsens (geb. 1846) „Principles of Theoretical Chemistry" (Philadelphia 1877) großen Vorschub, und wenn dieses Buch durch eine deutsche Bearbeitung (Tübingen 1890) uns zugänglich ward, so ist darin nur ein Akt der Revanche für Remsens Übertragung von Fittig-Woehlers „Grundriß der organischen Chemie" (Leipzig 1877) zu erblicken. Angelsächsische und deutsche Geistesarbeit wirkte zusammen bei der Verdeutschung von Roscoes „Treatise on Chemistry" (London 1877—1881), an dem Schorlemmer (Abschnitt XII) mitarbeitete. Derselbe Chemiker übertrug Roscoes „Lessons in elementary Chemistry" (London 1878), welches gewiß eines der verbreitetsten Bücher der Welt ist, weil es auch ins Griechische, Japanische und Hindustanische übersetzt wurde. Als geistvoller Niederschlag der von A. W. v. Hofmann zuerst in London gehaltenen Vorträge ist dessen „Einleitung in die moderne Chemie" (Braunschweig 1866, mit zahlreichen Neuauflagen) besonders zu nennen. O. Dammers „Handbuch der anorganischen Chemie" (Stuttgart 1892) wendet sich an den Fachmann selbst; als Elementarbuch hingegen konnte wohl keines den Vergleich aufnehmen mit der „Schule der Chemie" des verdienten Agrikulturchemikers J. A. Stoeckhardt (1809—1886), welche in Braun

schweig erstmalig 1846 erschien, ihre 11. Auflage aber schon 1859 und ihre 19. im Jahre 1881 erlebte, zudem auch in sieben fremde Litteraturen überging. Studierende benützen als einen aus gründlicher Praxis hervorgegangenen Führer das von W. v. Miller und H. Kiliani gemeinschaftlich herausgegebene Lehrbuch (4. Auflage, Braunschweig 1900), sowie V. v. Richters (8. Auflage, Bonn 1893) und H. Erdmanns (2. Auflage, Braunschweig 1900) geschätzte Werke, und für Laboranten eignet sich im vorgerückteren Lernstadium vorzüglich E. Fischers „Anleitung zur Darstellung organischer Präparate“ (Leipzig 1887). Die organische Chemie verfügt über eine noch mächtiger angeschwollene Litteratur, als deren namhafteste Vertreter Schorlemmer („Lehrbuch der Kohlenstoffverbindungen“, Braunschweig 1885), Beilstein („Handbuch der organischen Chemie“, Hamburg-Leipzig 1892) und das wegen der treffenden Darstellungsweise des bekannten technischen Direktors der Ludwigshafener Werke sehr gesuchte „Kurze Lehrbuch der organischen Chemie“ (Braunschweig 1891) von H. A. Bernthsen (geb. 1855) aufgeführt werden sollen. Was man neuerdings allgemeine Chemie genannt hat, gehört dem nächsten Abschnitte an, wo auch die Schriften der modernen Theoretiker besser als hier an ihrem Platze sein werden. Die analytische Chemie hat mit großartigem Erfolge K. R. Fresenius (geb. 1818) für Unterrichtszwecke bearbeitet; seine Anleitungen zur quantitativen und qualitativen Analyse sind in ungezählten Ausgaben unter Lehrern und Praktikanten verbreitet. Auch Mohrs „Lehrbuch der Titriermethode“ (Braunschweig 1855; 6. Auflage 1886) und der französisch, englisch und polnisch übersetzte „Grundriß der analytischen Chemie“ von A. Classen (geb. 1843) haben sich ein großes Publikum verschafft. Speziell aber für das weite Gebiet der chemischen Technologie im ganzen Umfange ist Muspratts Handbuch eine nie versiegende Quelle, von Stohmann und G. H. B. Kerl (geb. 1824) auch in deutsches Gewand gekleidet (Braunschweig, von 1854 an). Des ferneren ist J. R. v. Wagners (1822—1880) „Handbuch der chemischen Technologie“ (Leipzig 1860; 13. Auflage, besorgt von F. Fischer, ebenda 1889) von durchschlagender Wirkung gewesen, und vielen Anklang haben auch die von dem Züricher

Technologen A. P. Bolley (1812—1870) herausgegebenen Werke („Handbuch der technisch-chemischen Untersuchungsmethoden“, Leipzig 1866; 5. Auflage, besorgt von Stahlschmidt, ebenda 1879; „Chemische Technologie des Wassers“, ebenda 1862) gefunden. Die medizinische Chemie kennt als Grundbuch nach wie vor Hoppe-Seylers „Handbuch der physiologisch- und pathologisch-chemischen Analyse“ (5. Auflage, Berlin 1883). Die chemische Mittelschulmethodik muß ihren berufensten Vertreter in R. Arendt anerkennen.

Erfreulich ist, daß von je in der Chemie ein lebhafter historischer Sinn gewaltet hat, mehr vielleicht als in anderen Naturwissenschaften. Außerordentlich wertvoll sind die Publikationen Kopps, und zwar nicht allein die große „Geschichte der Chemie“ (Braunschweig 1843—1847), sondern auch die eine ganz vereinzelte Vertrautheit mit den Geheimlehren der Alchymie bekundenden „Beiträge zur Geschichte der Chemie“ (ebenda 1867) und die „Entwicklung der Chemie in der neueren Zeit“ (München 1871—1874). Nächst Kopp ist Wurtz als geachteter Geschichtschreiber der Chemie in der Arena erschienen, obwohl man seiner „Histoire des doctrines chimiques“ (Paris 1868; auch deutsch und englisch) nicht mit Unrecht den Vorhalt gemacht hat, den für die Zeit um 1800 fraglos giltigen Leitsatz, „Die Chemie ist eine französische Wissenschaft“, etwas zu sehr auch auf die Folgezeit ausgedehnt zu haben. Sehr verdienstlich ist Blomstrands schwedisch geschriebene Charakteristik der modern-chemischen Theorien (Lund 1864). Die neueste Zeit hat uns Deutschen zwei ganz vorzügliche Werke gebracht: „Vorträge über die Entwicklungsgeschichte der Chemie in den letzten hundert Jahren“ (Braunschweig 1887) von Ladenburg und „Geschichte der Chemie von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart“ (Leipzig 1895) von E. S. Ch. v. Meyer (geb. 1847). Beide mußte diese unsere Darstellung vielfach ausnützen. Für die gute Aufnahme, deren sich solche monographische Arbeiten in Deutschland gewärtig halten dürfen, sprechen auch E. Schultzes Studie über die letzten deutschen Alchymisten (Leipzig 1897) und die von G. W. A. Kahlbaum (geb. 1853) und Aug. Hofmann begonnene Sammlung historischer Abhandlungen, die sich mit einer Untersuchung

über die Verbreitung der Lavoisierschen Neuerungen (Leipzig 1897) sehr gut eingeführt hat. Zur ersten Orientierung über den Werdegang der neueren Chemie kann angeraten werden: F. B. Ahrens, „Die Entwicklung der Chemie im 19. Jahrhundert“ (Stuttgart 1900).

Die chemischen Zeitschriften, dieses unentbehrliche Hilfsmittel schneller Verbreitung neuer Erfindungen und Entdeckungen, haben sich in den letzten Jahrzehnten derart vermehrt, daß an eine auch nur entfernt vollständige Aufzählung derselben nicht gedacht werden kann. Rühmt sich doch jedes Kulturland zum mindesten eines einzigen Fachblattes! In Deutschland haben sich zwar die „Annalen der Physik und Chemie“ dieser letzteren Wissenschaft fast ganz entfremdet, aber die „Annalen der Chemie und Pharmazie“ blühen noch ebenso wie das „Journal für praktische Chemie“, welches seit 1885 E. v. Meyer herausgiebt. Das „Chemische Zentralblatt“ sucht zwischen den einzelnen Kreisen, die für das unermeßlich werdende Fach Interesse besitzen müssen, zu vermitteln. Außerdem werden viel gelesen die voluminösen „Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft“, die sich, nicht ohne scharfe Gegenrede Kolbes, im Jahre 1867 konstituierte, die „Deutsche Chemikerzeitung“ und die „Chemisch-technische Zeitung“; Spezialorgane sind G. Krüß' in Wiesbaden erscheinende „Zeitschrift für analytische Chemie“ und die in Straßburg erscheinende „Zeitschrift für physiologische Chemie“. Die „Annales“ in Paris haben sich ihre vornehme Stellung vollständig bewahrt, aber außerdem giebt die Chemische Gesellschaft in Paris, ebenso wie diejenige in London, ein eigenes Bulletin heraus. Die „Gazetta chimica“ und das „American Journal of Chemistry“ vertreten würdig Italien und die Vereinigten Staaten. Neben den periodischen Zeitschriften hat der Chemiker auch besonders Jahresberichte nötig; dahin gehört der alte Liebigsche „Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie“, und seit 1891 redigiert R. Meyer mit verschiedenen Kollegen das inhaltreiche „Jahrbuch der Chemie“. Auch an das von dem Mathematiker H. F. Gretschel (1830—1892) und dem Chemiker Ch. H. Hirzel (geb. 1828) herausgegebene „Jahrbuch der Erfindungen“ darf erinnert werden, wie auch nicht minder an das „Jahrbuch der Naturwissenschaften“ von M. Wildermann (geb. 1845).

Der höhere akademische Unterricht lag, wie Abschnitt IX an Beispielen belegte, vor 1850 noch vielfach im Argen, und nur Frankreich und England machten eine rühmliche Ausnahme, während sogar Berzelius sich noch lange in recht engen Verhältnissen behalf und in Deutschland nur einzelne leuchtende Punkte aus dem sonstigen Dunkel emporragten. Der kalte Wasserstrahl, den J. v. Liebig 1840 mittelst einer streitbaren Denkschrift gegen die Zustände Österreichs und Preußens richtete, war der Sache entschieden förderlich, und in den fünfziger Jahren begannen sich in den meisten Universitätsstädten gut ausgestattete Arbeitsanstalten zu erheben, denen sich auch der Lehre geweihte Privatlaboratorien anschlossen. Dasjenige, welches Fresenius in Wiesbaden durch lange Jahre leitete, erwarb sich einen wohlbegründeten Weltruf. A. W. v. Hofmann, A. v. Baeyer, Kolbe, Wislicenus u. a. sicherten ebenfalls ihren von Hunderten wißbegieriger Adepten besuchten Instituten einen hervorragenden Platz unter den Attributen der deutschen Hochschulen. Und während unser Vaterland ehedem von anderen Staaten zu lernen hatte, vermochte es nachgerade wieder befruchtend auf jene zu wirken, wie denn ein Referat, welches 1869 Wurtz über seine Beobachtungen in Deutschland erstattete, den Anstoß zu einer durchgreifenden Umgestaltung des chemischen Unterrichtswesens in Frankreich gab.

Neunzehntes Kapitel.

Die Emanzipation der physikalischen Chemie.

Der Berührungspunkte zwischen Physik und Chemie giebt es überaus viele, so viele, daß in einer nicht allzuviel hinter uns liegenden Zeit von einem Hochschullehrer der einen dieser beiden Disziplinen mit allem Rechte verlangt werden konnte, er müsse auch zu Vorträgen und Demonstrationen in der anderen die Befähigung besitzen. Über diese Periode ist die Wissenschaft jetzt hinaus, und es schien sogar zeitweise, daß sich Physik und Chemie zwar nicht etwa gegnerisch, wohl aber neutral und gleichgiltig gegenüberstehen würden. Daß es ganz anders gekommen, daß sich auch da ein Grenzgebiet aufthat, das nach Inhalt und Methodik ebenso sehr der einen wie der anderen Seite angehört, konnte man erst seit höchstens einem Vierteljahrhundert mit voller Klarheit erkennen, und deshalb durften wir von einer Emanzipation der vorher einigermaßen heimatlosen physikalischen Chemie mit gutem Rechte sprechen. Ostwald erzählt uns in der begeisterten Rede, mit welcher er 1898 das für ihn bestimmte und dem neuesten Standpunkte der Forschung gemäß eingerichtete physikalisch-chemische Institut der Universität Leipzig einweihte, daß noch um die Mitte der achtziger Jahre erst ein Zukunftsprogramm für die junge, nach Selbständigkeit ringende Disziplin entworfen werden mußte, und daß er selbst, vereint mit seinem Freunde Arrhenius, die hierauf abzielenden Pläne besprach, von denen nun schon ein guter Teil

in die Wirklichkeit übergeführt worden ist. Von geschichtlicher Entwicklung ist hier vielleicht noch nicht im strengen Wortsinne zu reden, weil wir uns eben noch keineswegs an einem Ruhepunkte befinden, der einen ganz objektiven Rückblick gestattet. Gleichwohl aber würde dem Bilde, dessen Zeichnung dieses Buch übernommen hat, eine Reihe äußerst eindrucksvoller und wahrlich nicht bloß vorübergehender Züge fehlen, wollten wir darauf verzichten, dem Aufstreben eines mit jugendlicher Kraft nach Selbständigkeit ringenden Wissenszweiges die gebührende Aufmerksamkeit zuzuwenden. Es ist ein ähnlicher Vorgang, wie er uns im übernächsten Abschnitte, bei der Betrachtung der Schicksale der Erdkunde, entgegentreten wird.

Von gelegentlichen Arbeiten physikalisch-chemischer Natur war sowohl in Abschnitt IX, wie auch in Abschnitt XVI mehrfach zu berichten, allein dieselben standen eben vereinzelt da, und nur Wenige mögen erkannt haben, welcher Umschwung sich hier langsam und allmählich einleitete. Als denjenigen Gelehrten, der zuerst zur akademischen Vertretung des neuen Faches ausersehen war und in dieser seiner Stellung Bedeutendes leistete, bezeichnet Ostwald selbst den Heidelberger Chemiker H. Kopp, den uns bereits wohl bekannten, hochverdienten Historiker der Chemie, der nur leider durch die Beschränktheit der Umstände, unter denen er seinen Lehrberuf ausüben mußte, an der Entfaltung einer auf weitere Kreise wirkenden Thätigkeit gehindert war. Einen Ruf nach Leipzig lehnte er ab, und G. Wiedemann blieb es vorbehalten, an der Hochschule, welche bereits durch Kolbe zu einem Emporium der modernen Chemie erhoben worden war, die Disziplin jenem Zustande entgegenzuführen, in welchem wir sie gegenwärtig wahrnehmen. Als er sich späterhin ganz auf die Physik zurückzog, übernahm Ostwald die nunmehr autonom gewordene Professur der physikalischen Chemie, und es steht zu hoffen, daß in nicht ferner Zeit wenigstens alle größeren Universitäten dem Beispiele Leipzigs nachfolgen werden. Erfahrungsgemäß sträubt man sich und sucht durch Palliativmittel den entscheidenden Schritt hinauszuzögern, aber das Schwergewicht der Thatsachen bewirkt schließlich doch die Arbeitsteilung, die anderwärts bereits ihren Nutzen dokumentiert hat.

Kopps Arbeiten führen uns beiläufig sechzig Jahre zurück. Sie beziehen sich vorwiegend auf die Ermittlung des Siedepunktes der verschiedensten Stoffe, und durch ausgiebige Verwendung des Kalorimeters, das damals noch in sehr primitiven Formen doch schon gute Dienste that, wurde die Möglichkeit geschaffen, spezifische Wärmen mit größerer Schärfe bestimmen und dieselben zu den spezifischen Volumina in Beziehung setzen zu können. Auch die neuen Aufschlüsse über Iso- und Polymorphismus verwertete Kopp für die physikalische Atomistik, und eine geschichtlich sehr beachtenswerte Abhandlung aus dem Jahre 1863 suchte den Aufbau aus Atomen als eine Konsequenz der geometrischen Krystallform darzustellen. Auch die Frage nach einem möglichst zuverlässigen Hilfsmittel zur Bestimmung von Dampfdichten war damals bereits in den Vordergrund getreten, und nicht von physikalischer, sondern von chemischer Seite wurde zuerst ein wirklich sicheres Verfahren für diesen Zweck angegeben. Dumas und Gay-Lussac waren die Vorkämpfer auf diesem Gebiete, und ihre Methoden haben sich, wenn auch mit Abänderungen, bis zum heutigen Tage in den Laboratorien erhalten. Nach Dumas bringt man die zu prüfende Flüssigkeit in eine Glaskugel, an die eine sich stetig verjüngende Glasröhre angeblasen ist, erwärmt die gefüllte Kugel im Ölbade und läßt sie hier so lange sieden, bis das Entweichen der Dämpfe aufgehört hat, und schmilzt nun die Spitze der Ansatzröhre zu, um sodann eine Gewichtsbestimmung auszuführen. Eine sehr einfache Formel liefert jetzt die Dichte des Dampfes für jene Temperatur und jenen Luftdruck, bei welchen das Sieden statthatte. A. W. Hofmann und V. Meyer haben, um von anderen zu schweigen, das nämliche Problem bearbeitet; wir sehen, daß dasselbe, obschon es auf den ersten Blick entschieden als ein der Physik angehöriges betrachtet werden müßte, trotzdem auf die Chemiker die weitaus größere Anziehungskraft ausgeübt hat. Und das ist leicht zu begreifen, weil die Dampfdichte ihrerseits wieder dazu dient, das Atomgewicht eines Elementes zu finden. Schon gleich im Anfange wurde auf die Wichtigkeit des Satzes von Avogadro hingewiesen, welche der Mitwelt nicht zum richtigen Bewußtsein kam, der aber das Korollar in sich schloß: Die Molekular-

gewichte zweier Körper verhalten sich wie ihre Dampfdichten. Angesichts des Umstandes, daß die direkte Bestimmung der erstgenannten Größe oft mit großen Schwierigkeiten verknüpft erscheint, gewährt es dem Chemiker Trost, im spezifischen Gewichte des Dampfes, in den sich die fragliche Substanz durch Erhitzen verwandelt, einen Kontrollwert erhalten zu haben.

Man wird aus diesem Beispiele, dem eine unleugbare geschichtliche Bedeutung zukommt, einen Schluß auf das Wesen der physikalischen Chemie überhaupt ziehen können. Die Chemie ist es der Hauptsache nach, welche die Aufgaben stellt, und die Physik leiht die Hilfsmittel zur Beantwortung der vorgelegten Fragen. Wer nur ein wenig mit dem Wesen wissenschaftlicher Arbeit vertraut ist, weiß, daß mit einer derartigen, ganz allgemeinen Charakteristik noch nicht alle Möglichkeiten erschöpft sind, daß vielmehr auch wohl einmal das umgekehrte Verhältnis eintritt; im Großen und Ganzen jedoch wird man beim Durchmustern des konkreten Inhaltes unserer Disziplin den beschriebenen Hergang gewahrt finden. Was diesen Inhalt anlangt, so ist er freilich noch kein so fest begrenzter, wie man dies bei älteren, schon seit langer Zeit systematischer Bearbeitung teilhaftig gewordenen Wissenschaften verlangen kann, sondern die Meinungen darüber, was zur physikalischen Chemie gerechnet werden muß, mögen noch da und dort auseinanderweichen. Indessen hat doch schon eine sehr weitgehende Abklärung Platz gegriffen, großenteils infolge der Bemühungen zweier hervorragenden Fachmänner, die Gesamtheit der einschlägigen Lehren zusammenfassend vorzutragen Die beiden Werke, auf welche hier angespielt ist, bilden ein festes Knochengerüste für den noch in vollster Entwicklung begriffenen Organismus; es sind dies W. Ostwalds „Lehrbuch der allgemeinen Chemie" (Leipzig 1885—1886) und W. Nernsts „Theoretische Chemie vom Standpunkte der Avogadroschen Regel und der Thermodynamik" (Stuttgart 1893). Zumal dieses letztere eignet sich sehr gut, Denjenigen, der sich über die Ziele und einstweiligen Resultate der physikalischen Chemie ein Urteil zu bilden wünscht, hierzu in Stand zu setzen. Wir haben, als wir eine Orientierung über die neueren Fortschritte der medizinischen Physik

boten, einen anerkannt vorzüglichen Lehrbegriff derselben zur Leitschnur genommen und gedenken in diesem Abschnitte in derselben Weise vorzugehen, indem wir uns eben an das Nernstsche Werk anlehnen. Ohne eine solche Unterstützung müßte die Zeitgeschichte, die ja eben aus dem vorerwähnten Grunde noch keine eigentliche Geschichte sein kann, es sich versagen, aus der ungeheuren Flut der Litteratur diejenigen Momente herauszuwählen, die im kommenden Jahrhundert eine Rolle zu spielen berufen sein könnten. Die Gefahr, dem sehr mäßigen, zur Verfügung stehenden Raume zum Trotze ins Uferlose abzuschweifen, wäre eine nur allzu große, wenn nicht die stete Rücksicht auf eine autoritative Darstellung der wirklich maßgebenden und probehaltigen Wahrheiten einen dauernden Schutz gewähren und die Einhaltung eines zum Ziele führenden Weges gewährleisten würde.

Die Grundlehren der physikalischen Chemie tragen jenen ausgesprochen atomistischen Charakter, der uns als für die gesamte Naturwissenschaft typisch schon wiederholt entgegengetreten ist. So nahm man denn auch in diesen Kreisen von vornherein die thermodynamischen Gesetze bereitwilligst auf und suchte die aus ihnen fließende Theorie der Aggregatzustände für die chemischen Umsetzungen nutzbar zu machen. Da bei Erreichung einer gewissen Temperatur die Flüssigkeit in den gasförmigen Zustand übergeht, so hatte schon Clausius Wert darauf gelegt, zwischen Druck und Temperatur eine gesetzmäßige Beziehung auszumitteln, als deren graphisches Symbol die sogenannte Siedekurve zu gelten hat. Winkelmann und Ramsay haben hierüber gearbeitet, indem namentlich letzterer fand, daß man zu einfachen Formeln gelangt, wenn man vom absoluten Nullpunkte (Abschnitt XI) aus die Siedetemperaturen zählt. Als eine gute Interpolationsformel ist nach Nernst und A. Hesse („Siede- und Schmelzpunkt, ihre Theorie und praktische Verwertung“, Braunschweig 1893) auch die von E. Dühring („Neue Grundgedanken zur rationellen Physik und Chemie“, Leipzig 1878) aufgestellte Regel zu erachten. H. H. Ch. Bunte (geb. 1848), ein um die wissenschaftliche Fundierung der Leuchtgasindustrie sehr verdienter Chemiker, hat im Jahre 1873 und J. M. Crafts (Abschnitt XVII) hat im Jahre

1887 ein Verfahren zur Bestimmung der Reduktion auf den normalen Siedepunkt (bei 760 mm Druck) angegeben, welches darauf beruht, daß die gleichen Druckstärken entsprechenden absoluten Siedetemperaturen zweier chemisch verwandten Stoffe in einem konstanten Verhältnis stehen. Die molekulare Verdampfungswärme ist dann ebenfalls sofort gegeben. Natürlich gewinnt die physikalische Chemie auch den kritischen Erscheinungen, die wir früher kennen lernten, manch neuen Gesichtspunkt ab. Als eine Überleitung zu jener innigen Vereinigung, wie sie sich in der chemischen Verbindung darstellt, ist ein physikalisches Gemisch — nächstliegendes Beispiel die atmosphärische Luft — anzusehen; über die optischen Eigenschaften der Gemische, die sich besonders in eigenartigen Refraktionsphänomenen kundgeben, hat Landolt viel Licht verbreitet, von dem auch (1864) eine sehr merkwürdige Untersuchung über die Beeinflussung der Lichtgeschwindigkeit durch verschiedenartige atomistische Zusammensetzung des durchlaufenen Mittels herrührt. Ein noch wenig bebautes Arbeitsfeld thut sich für die Zukunft auf mit der Betrachtung der kritischen Punkte von Gemischen, wozu G. C. Schmidt (1891) den Grund gelegt hat. Im allgemeinen darf man annehmen, daß die aus den Elementen der Arithmetik bekannte Mischungsrechnung auch bei verwickelteren Fällen dazu dient, aus den numerischen Elementen der Konstituenten den analogen Wert des Gemisches zu berechnen, und es überträgt sich dies sogar auf die Vermischung zweier Substanzen in fester (Krystall-)Form. Über die mehr oder weniger intime Beziehung, in welche beim Mischen die Moleküle der gemischten Stoffe treten, werden noch mannigfache Studien anzustellen sein; bei den von F. Guthrie (1833—1886) mit diesem Namen belegten eutektischen Mischungen ist jedenfalls die Durchdringung schon eine fortgeschrittene geworden, so daß dieselben als eine Art Übergangszustand zwischen mechanischem Gemische und chemischer Verbindung erscheinen. Auch den metallischen Legierungen weist Nernst eine Sonderstellung an.

Vor allem aber geben aus theoretischen und praktischen Gründen den Forschern diejenigen Mischungen zu thun, welche als — mehr oder minder verdünnte — Lösungen von je her den Physiker und

Chemiker beschäftigt haben. Man kann sagen, daß deren Theorie sogar einen bevorzugten Tummelplatz geistiger Arbeit für die Koryphäen unseres Faches bildet. Aus früherer Zeit möchten wir eine vielleicht nicht genügend gewürdigte Abhandlung über Diffusion von Salzlösungen in Wasser von E. L. R. Beez (geb. 1827) aus dem Jahre 1859 anführen; später hat A. F. Hartmann (geb. 1842) diesem Gegenstande und den mit ihm nahe verwandten Dissoziationsproblemen seine Kraft gewidmet, und seit 1885 gab ein genialer Gedanke van t'Hoffs allen diesen Arbeiten eine neue Richtung. Er zeigte, wie beim Diffusionsakte die Lösung in dem Bestreben, sich mit einer reinen Flüssigkeit derart zu vereinigen, daß allenthalben der gleiche Konzentrationsgrad herrsche, eine Druckkraft ausübt, die man den Sinnen wahrnehmbar machen kann, wenn man eine bewegliche Scheidewand einführt, welche zwar der Flüssigkeit, nicht aber dem in ihr aufgelösten Festkörper den Durchgang verstattet. Dieser osmotische Druck wirkt ganz ebenso, wie dies auch eine eingeschlossene Gasmasse gegenüber der umschließenden Wandung thut. Im Jahre 1867 fand der berühmte Pathologe M. Traube (1818—1876) einen Stoff auf, der völlig dazu geeignet ist, solche semipermeable Diaphragmen herzustellen, und mit deren Hilfe läßt sich also die Anschauung van t'Hoffs experimentell nachprüfen, und es ist dies auch von verschiedenen Seiten geschehen, so namentlich von dem schon erwähnten Botaniker W. F. Ph. Pfeffer, der im Interesse der Pflanzenphysiologie den Durchgang von Flüssigkeiten durch Membranen schon vorher („Osmotische Untersuchungen", Leipzig 1877) eingehend studiert hatte. Man mißt die Größe des osmotischen Druckes auf verschiedene Weisen, am sichersten indirekt dadurch, daß man den Energiebetrag ermittelt, der rückwärts aufgewendet werden muß, um gelösten Stoff und Lösungsmittel wieder von einander zu scheiden; dies zu ermöglichen, können Verdampfung, Auskrystallisieren und selektive Löslichkeit in Betracht kommen. Der osmotische Druck und die Mittel, ihn quantitativ zu eruieren, stehen seit etwa fünfzehn Jahren im Vordergrunde des Interesses, zumal nachdem es gelang, gewisse Sätze von F. M. Raoult (geb. 1830) zu dieser Theorie in engste Beziehung zu setzen. Lösungen

von gleichem osmotischem Drucke erhält man nämlich, wenn man im nämlichen Lösungsmittel äquimolekulare Mengen verschiedener Stoffe zur Auflösung bringt. Wieder einen neuen Fingerzeig von hoher Fruchtbarkeit gab 1890 van t'Hoff, indem er darthat, daß auch bei jenen festen Lösungen, auf deren Vorhandensein er erwähntermaßen geführt ward, von einem solchen Drucke gesprochen werden könne. Damit finden gewisse Erfahrungen über molekulare Durchdringung sich berührender fester Körper eine vorläufige Erklärung, mit deren Sammlung W. V. Spring (geb. 1848) schon etwas früher den Anfang gemacht hatte. Die jetzt schon fest gewurzelte Überzeugung, daß mit dem Worte Aggregatzustand keine irgendwie stabile Existenzform der Materie zu bezeichnen ist, sondern daß nur die zufälligen äußeren Umstände uns einen beliebigen Körper eben in dem Zustande größerer oder geringerer Beweglichkeit der ihn zusammensetzenden Partikeln erscheinen lassen, wird durch den allerdings noch hypothetischen Satz von van t'Hoff bestätigt: Isosmotische, d. h. von übereinstimmendem osmotischem Drucke beherrschte Lösungen enthalten, wenn Volumen und Temperatur gleich sind, auch eine gleiche Anzahl von Molekülen. Man sieht, daß dies eine einfache Ausdehnung des uns aus Abschnitt VIII erinnerlichen Gesetzes von Avogadro auf einen Zustand ist, der gewiß nicht als gasförmig aufgefaßt werden kann und doch zu diesem, wie eben schon die Bekundung des Druckes bewies, die auffälligsten Analogien an den Tag legt. Nur das Wasser scheint sich der beschriebenen Gesetzmäßigkeit nicht recht zu fügen, gerade wie auch das Avogadrosche Gesetz gegenüber Gasen von sehr hoher Dampfdichte außer Kraft tritt; später ist es jedoch gelungen, diese scheinbare Diskrepanz zu beseitigen oder, richtiger gesprochen, als notwendige Folge einer noch universelleren Thatsachenreihe zu erkennen.

Dies wurde erzielt durch den Ausbau einer Theorie, deren Anfänge wir am Schlusse unseres elften Abschnittes zu streifen veranlaßt waren. Dort gedachten wir der elektrolytischen Hypothesen, die noch schüchtern v. Grothuß und weit bestimmter Hittorf formuliert hatten, und deuteten an, daß Arrhenius aus diesen Anfängen heraus eine vollständig neue Interpretation des Wesens

der Jonenwanderung entwickelt habe. Jetzt ist es an der Zeit, jene Andeutungen fester zu gestalten, und es wird dies Dem, der aktuelle Geschichte zu schreiben unternimmt, erleichtert durch den Umstand, daß Nernst und Ostwald — dieser im letzten Kapitel seiner umfangreichen „Elektrochemie" (Leipzig 1896) — die neuen Lehren in systematischer Darstellung vorgeführt haben. Die ersten Arbeiten von Arrhenius (1884), die es mit der Leitungsfähigkeit stark verdünnter wässeriger Lösungen zu thun hatten, stießen noch auf mehrseitigen Widerspruch, und wirklich war es ja auch durchaus nicht leicht, sich in einen Gedankengang hinein zu versetzen, der sich als ein ganz und gar neuer, ungewohnter erwies. Und einen Teil seiner Thesen mußte ja auch der skandinavische Gelehrte selbst wieder fallen lassen. Er war nämlich von der Annahme ausgegangen, daß in den Lösungen Molekülaggregate, komplexe Moleküle nach seiner Nomenklatur, vorhanden seien, welche unter der Einwirkung des elektrischen Stromes in eigentliche Moleküle zerfielen. Allein jene Moleküle höherer Ordnung, wenn man so sagen darf, ließen sich in keiner Weise ergründen, sie blieben Phantasiedinge, und nachdem sich Arrhenius überzeugt hatte, daß seine Hypothese einen schwachen Punkt habe, während er doch nach wie vor von der Notwendigkeit eines Zerlegungsprozesses durchdrungen blieb, ging er zu einer neuen, von den Thatsachen trefflich unterstützten Fassung seiner Grundvorstellung über: Die Moleküle sind das Primäre, und die Elektrolyse besteht darin, daß erstere sich in die als Jonen bekannten Teilstücke auflösen. Damit war die Bahn gebrochen für die im Laufe des letzten Jahrzehntes so gewaltig fortgeschrittene Theorie der freien Jonen, deren Prolegomena enthalten sind in einem Sendschreiben (1884) an J. O. Lodge (geb. 1851), ständigen Sekretär des britischen „Electrolysis-Committee". Hier legt Arrhenius dar, wie van t'Hoffs Divination über den osmotischen Druck ihn zu einer Revision seiner früheren Auffassung genötigt habe, bezüglich deren er jedoch selbst wieder Williamson und Clausius als Diejenigen nennt, deren Arbeiten zuerst für seine eigenen bestimmend gewesen seien. Die elektrolytische Dissoziation besteht darin, daß nach der Zerfällung der

Moleküle die positiven Ionen von der Anode zur Kathode und die negativen Ionen in umgekehrter Richtung wandern; neben den Ionen giebt es aber auch noch Moleküle, die an dem ganzen Vorgange gar keinen Anteil nehmen, die folglich als elektrisch neutral betrachtet werden müssen.

Der Empfang der neuen Ionenlehre war, wie dies in unserem Buche so oft schon konstatiert werden mußte, wenn sich ein tiefgreifender Reformversuch hervorwagte, ein sehr zurückhaltender, und nur Hittorf, dem es ja seinerzeit nicht besser ergangen war, mochte eine hohe Befriedigung über dieses Wiederaufleben des angeblich Galileischen „eppur si muove" empfinden. Von den jüngeren Forschern schloß sich jedoch Ostwald sofort bereitwillig ihm an, obwohl die Fragen, deren Beantwortung ihm zunächst am Herzen lag, nur dem Weiterblickenden als nahe verwandt erscheinen konnten. Er beschäftigte sich nämlich damit, die chemische Verwandtschaft der Körper der Messung zu unterstellen, ein Maß für den als Affinitätsgröße zu charakterisierenden, zunächst noch unbestimmten Begriff ausfindig zu machen. Nähere Auskunft über die Gesamtheit der diese Linie einhaltenden Bestrebungen für später vorbehaltend, bemerken wir für jetzt nur, daß Ostwald 1883, noch ganz unbeeinflußt von Arrhenius und van t'Hoff, zu dem Resultate gelangt war, die Geschwindigkeit der chemischen Reaktion dem elektrischen Leitungsvermögen der betreffenden Säure proportional zu setzen. Nunmehr leuchtet ein, welches für Ostwald der innere Zusammenhang zwischen zwei anscheinend auf ganz verschiedene Ziele lossteuernden Arbeitsrichtungen war. Wesentlich unter dem Eindrucke, daß es erforderlich sei, für diese letzteren auch ein gemeinschaftliches Organ zur Verfügung zu haben, trat auch im Jahre 1887 die seitdem erfolgreich fortgeführte, von den beiden zuletzt genannten Fachmännern geleitete „Zeitschrift für physikalische Chemie" in das Leben. Wie schon erwähnt, ist um dieselbe Zeit Planck der Frage nach der Beschaffenheit verdünnter Lösungen näher getreten, ohne jedoch zunächst noch die elektrolytische Seite derselben mit zu behandeln. Ostwald führte 1888 die jetzt in den Prinzipien festgelegte Theorie von der Analogie zwischen Gasen und verdünnten

Lösungen weiter aus, und es gelang ihm namentlich, unterstützt durch seinen damaligen Assistenten Nernst, gewisse auf dem Wege der Reflexion gefundene Wahrheiten, für welche hervorragende Physiker den direkten Nachweis als ausgeschlossen erachteten, experimentell zu erhärten. Die von Arrhenius gemachte Entdeckung der isohydrischen Lösungen, die so beschaffen sind, daß ihre Vermischung keine Veränderung der elektrischen Leitungsfähigkeit im Gefolge hat, verhalf dazu, den Widerstand zu brechen, der noch in weiten Kreisen — vielfach allerdings mehr latent — der Jonentheorie entgegengebracht ward. Einen noch erheblicheren Fortschritt signalisierte 1889 Nernsts Nachweis, daß sich, wie H. v. Helmholtz bereits im Sonderfalle gefunden, auch die elektromotorische Aktion der Jonen dem numerischen Erkennen nicht entzieht. Als Seitenstück des osmotischen Druckes verlangt gleichmäßig Beachtung die Lösungstension, die in dem der Auflösung ausgesetzten Körper steckt und die Lösung nur so lange vor sich gehen läßt, bis jene neu eingeführte Größe dem osmotischen Teildrucke der neu gebildeten Moleküle gleich geworden ist. Die anerkanntermaßen noch nicht ausreichend geklärte Natur der Kontaktelektrizität ließ sich daraufhin unter einem neuen Gesichtspunkte erforschen, wie denn Planck zu Beginn der neunziger Jahre mit einer viel versprechenden Erklärung des Wesens der Flüssigkeitsketten hervortreten konnte. Mit unserem Fortschreiten auf diesem Gebiete ist auch die etwas erstarrte Theorie der Volta-Elektrizität in neuen Fluß geraten, und ziemlich hundert Jahre nach deren erstem Auftreten in der Geschichte der Naturlehre ist man auf elektrochemischem Wege hinter ihr eigentliches Geheimnis gekommen. Es sind hier vor allem auch die Beiträge namhaft zu machen, welche 1894 W. L. Goodwin (geb. 1856) zur Aufklärung der Zusammengehörigkeit von elektrischem Potentiale und Lösungstension geliefert hat.

Wer sich dazu angeregt fühlt, das langjährige Aufundabwogen der Meinungen an der Hand eines geschichtlich orientierten Führers zu verfolgen, der möge Ostwalds Universitätsprogramm „Ältere Geschichte der Lehre von den Berührungswirkungen“ (Leipzig 1897) zur Hand nehmen. Der Kontakt mußte, solange man über die

Thätigkeit der kleinsten Körperbestandteile im Unklaren war, als eine mysteriöse, unerklärliche Auslösung von Bewegungserscheinungen angesehen werden; das Gesetz von Ursache und Wirkung schien ebenso, wie später das Gesetz von der Konstanz der Energie, außer Kraft getreten zu sein, und unerfindlich war es, wie katalytische Kraft lediglich durch das Dasein eines Körpers, ohne daß derselbe sonst irgend eine Arbeit zu leisten hatte, geweckt werden konnte. Die Erklärungsversuche eines Berzelius, J. v. Liebig, Mitscherlich u. a. vermochten keine dauernde Befriedigung zu gewähren, und erst die allerneueste Zeit stellt dem Kausalbewußtsein eine solche Befriedigung in Aussicht, indem sie von dem Vorhandensein einer katalytischen Kraftleistung überhaupt absieht und die Phänomene, welche man auf jene zurückführen wollte, als solche faßt, die schon an und für sich eintreten müssen und durch die Dazwischenkunft der vermeintlich katalytisch wirkenden Körper nur eine zeitliche Beeinflussung erfahren. Freilich bleibt dem neuen Jahrhundert noch eine Riesenarbeit zu verrichten übrig, und es ist nicht zu erwarten, daß die Bedenken der konservativeren Partei unter den Physikern und Chemikern in absehbarer Zeit ganz zu nichte gemacht werden könnten, aber der jungen Dissoziationslehre kommt unter allen Umständen das Wort „An ihren Früchten sollt ihr sie erkennen“ zu gute. So lautet auch das Schlußurteil eines Mannes, der offenbar nur in langsamem Widerstreite sich die günstige Beurteilung durch die Wucht der Thatsachen, ohne gleich enthusiastisch zuzustimmen, hat abringen lassen. Der neueste Historiker der Chemie, E. v. Meyer, schreibt: „Trotzdem diese Hypothese von vielen Seiten bekämpft worden ist und gerade dem Chemiker Vorstellungen aufdrängt, die ihm fremdartig erscheinen, so muß man doch ihre eminente Brauchbarkeit zur Erklärung zahlloser chemischer Prozesse anerkennen. Insbesondere für die Elektrochemie und die Verwandtschaftslehre ist die Dissoziationshypothese von größter Bedeutung.“

So Vieles unter anderen Verhältnissen hierzu noch zu sagen wäre, so nötigt uns doch die Rücksicht auf den Zweck dieser Darstellung den Verzicht auf weiteres Eingehen ab, und nur noch eine

besonders wichtige Anwendung der Jonentheorie, der noch eine große Zukunft bevorstehen dürfte, erheischt gebieterisch Berücksichtigung. In Abschnitt XVI machten wir und in Abschnitt XXII werden wir weiter Bekanntschaft machen mit den wesentlich zur Förderung unseres Wissens von der Luftelektrizität planmäßig seit vielen Jahren angestellten Untersuchungen zweier am Gymnasium zu Wolfenbüttel thätiger Professoren, J. Elster (geb. 1854) und H. Geitel (geb. 1855). Es ist kaum je in der Litteratur ein gleich ausgesprochener und gleich erfreulicher Fall wissenschaftlicher Symbiose zu verzeichnen, denn abgesehen von einigen in frühere Jahre fallenden Veröffentlichungen ist es absolut unmöglich, herauszubringen, was an geistigem Eigentume dem einen oder anderen der beiden zu gemeinsamer Arbeit verbundenen Genossen angehören möchte. Elster und Geitel nun haben natürlich auch die Zerstreuung der Elektrizität in der Atmosphäre in ihr Programm aufgenommen und aus den Resultaten, welche ihnen längere Beobachtungsreihen in der Ebene und auf Höhenpunkten ergaben, eine Hypothese gezogen, die im Jahre 1899 bekannt gemacht ward und zu lebhafter Erörterung den Anstoß gab. Die Luft befindet sich ihnen zufolge stetig bis zu einem gewissen Grade im Zustande der Jonisation, d. h. eben der elektrischen Dissoziation, und zwar halten sich, so lange keine außergewöhnlichen Verhältnisse eingetreten sind, positiv und negativ geladene Jonen wesentlich die Wage. Diese Miniaturkörperchen durchschwärmen die Luft, und solange sie nicht in dichteren Luftpartien ein Hindernis für ihre freie Ausbreitung finden, wandern sie ungestört weiter, und für reine Luft muß demzufolge die Zerstreuung eine namhafte sein. Den negativen Jonen wird, seitdem J. J. Thomsons (Abschnitt XVI) Versuche im Jahre 1898 mehrseitige Bestätigung gefunden haben, eine größere Fortpflanzungsgeschwindigkeit zugeschrieben, als sie den Jonen mit positiver Ladung eignet, und so wird ein von ionisierter Luft umspülter Leiter — in erster Linie auch der Erdkörper selbst — negativ geladen werden. Wenn nun der in den unteren Luftschichten besonders massig entwickelte Wasserdampf in den kondensierten Zustand übergeht, so werden die positiven Jonen, mehr als die energischeren negativen, in ihrem Laufe aufgehalten; sie

vermögen die Nebelschicht nicht zu durchdringen und bilden über dem Boden eine mächtige Lage, innerhalb deren bloß positive Elektrizität aufgespeichert ist. An der oberen Grenze dieser Bank ist die Spannung gering, während sie nach unten zu hohe Werte annehmen kann. Man sieht, daß die Trennung der beiden Jonengattungen dann eine besonders entschiedene sein wird, wenn die Wolke sehr nahe an den Erdboden heranreicht, während bei größerer Höhe derselben immer noch Spielraum genug für die aus der reinen Luft zur Erde absteigenden positiven Jonen gegeben ist. Endlich kommt, falls der Taupunkt erreicht ist, der Wasserdampf bei der Ausscheidung an, und es beginnt der Regenfall, von dem es schon bekannt ist, daß er abwechselnd positiv und negativ geladene Tropfen aufweist. Eben dieser Sachverhalt schien sehr schwierig zu erklären zu sein; nunmehr jedoch ist diese Klärung erbracht: Aus den unteren Schichten, welche den negativen Jonen von der Erde her erreichbar sind, stammen die negativ geladenen, und aus dem oberen Teile kommen die positiv geladenen Wasserkugeln, die durch und durch mit Jonen gefüllt sind. Es wird kaum vermessen sein, zu glauben, daß mit der Zugrundelegung der Lehre von der Jonenwanderung für manches Rätsel eines der verwickeltsten Zweige der kosmischen Physik die Enthüllung gefunden sein wird. Ballonfahrten scheinen für die neue Auffassung wertvolle Bestätigungen liefern zu wollen.

Inwieweit die Insolation die Bildung und Bewegung freier Jonen fördert, bedarf noch weiterer Prüfung. Wie das gewöhnliche Licht, so ist zweifellos auch jede der verschiedenen Strahlengattungen, die in Abschnitt XVI betrachtet werden mußten, dazu befähigt, erregend zu wirken. Des näheren erforscht hat man in dieser Hinsicht die Roentgenstrahlen, mit denen sich Rutherford (1898) und J. Zeleny (1899) beschäftigten. Letzterer verglich die Geschwindigkeiten, mit welcher sich die von solchen Strahlen erzeugten Jonen gegen ihre jeweilige Empfangsstelle bewegen, mit der Geschwindigkeit eines Gasstromes, die man zu messen in der Lage war, und fand auch hier wesentlich die Regel von der schnelleren Fortbewegung der negativen Jonen bestätigt. Bei allen dem Versuche unterworfenen Gasen war die Wahrnehmung die

gleiche; nur feuchte Kohlensäure schien, wennschon nur in sehr minimalem Betrage, eine Beschleunigung der positiven Jonen herbeizuführen. Die Mengen von Elektrizität hingegen, welche die Jonen beider Vorzeichen mit sich führen, sind, soweit man bislang sieht, von der spezifischen Natur des Gases unabhängig, in welchem sich der Bewegungsvorgang abspielt.

Das Studium des physikalischen Verhaltens der Salzlösungen ist, wie wir erfuhren, nach verschiedenen Seiten folgenreich für die Wissenschaft geworden. Daß auch die Optik daran teil nimmt, hatten wir bei früherer Gelegenheit zu betonen, als wir Ostwalds Beobachtungen über die Absorptionsspektra von Salzen berührten. Indem ein Jon die Zahl seiner elektrischen Äquivalente wechselt, verändert es auch Farbe und Spektrum. Wollte man gemäß der von Ostwald gegebenen Definition als additive Eigenschaft eines Stoffes die bezeichnen, welche unverändert in die Mischung eingeht, so daß also, wenn a, b, c die numerischen Beträge der Komponenten (a und b), sowie der Mischung (c) vorstellen, $a + b = c$ gesetzt werden kann, so sind zwar Volumen und spezifische Wärme keine Eigenschaften dieser Art; wohl aber kann dies von optischem und magnetischem Drehungsvermögen behauptet werden. Diese beiden Größen manifestieren sich additiv; ersteres hatte Landolt schon 1873 wahrscheinlich gemacht, und das letztere ließ sich aus den Experimenten G. Wiedemanns schließen, über welche er 1889 Bericht erstattete. Der Jonentheorie liegt es ob, von diesen und anderen optischen Eigentümlichkeiten — nicht bloß der Lösungen — mit der Zeit Rechenschaft zu geben. Wie manch merkwürdige und nicht so leicht zu ergründende Thatsache da noch als Sphinx ihres Ödipus harrt, ist den Eingeweihten bekannt genug, während wir hier nur oberflächlich an diese Probleme zu rühren ein Recht haben. Erwähnung sei, um nur einen Punkt herauszugreifen, eines Fundes gethan, den O. Wallach (geb. 1847) in den letzten Jahren gemacht hat, und der sich auf die im vorigen Abschnitte zur Besprechung gelangten Ketone bezieht. Diese den Aldehyden verwandten Kohlenstoffverbindungen zeichnen sich nämlich durch ein starkes Absorptionsvermögen für ultraviolette Strahlen aus.

Auch neben der eigentlichen Ionentheorie, die nur neuerdings die Aufmerksamkeit besonders auf sich konzentrierte, umfaßt die Elektrochemie eine Reihe anderweiter Abschnitte, die in einer umfassenden Darstellung sorgfältig berücksichtigt werden müssen. Zum Teile haben die einschlägigen Arbeiten bahnbrechend und vorbereitend für den nachmals eingetretenen Umschwung gewirkt. Dahin gehört die 1869 von F. Kohlrausch und W. A. Nippoldt (geb. 1843) ins Werk gesetzte kritische Analyse der zur Vermeidung oder doch Paralysierung der elektrolytischen Polarisation dienenden Methoden, woran sich dann um die Mitte der siebziger Jahre eine wertvolle Verbesserung derselben reihte. Auch Hittorf kam 1878 auf seine frühere, viel befehdete These zurück, daß zwischen Elektrolyten und Salzen kein Unterschied anzuerkennen sei. Ferner stehen die elektrochemischen Spannungserscheinungen, welche R. Kohlrausch durch ein äußerst empfindliches Instrument messend zu verfolgen lehrte, noch jetzt auf der Tagesordnung. Es unterliegt sonach keinem Zweifel, daß die Elektrochemie, wenn auch zunächst im Rahmen der physikalischen Chemie verbleibend, auch im 20. Jahrhundert mit großen und vielseitigen Aufgaben befaßt sein wird, zu deren erfolgreicher Behandlung die 1895 ins Leben gerufene elektrochemische Gesellschaft kräftig mitwirken wird. An den Hochschulen geht man jetzt schon daran, eigene elektrochemische Laboratorien neben den chemischen und elektrotechnischen einzurichten. Daß das Fundamentalwerk von Ostwald für eindringendere Studien auf diesem Felde den besten Berater abgiebt, dürfte feststehen; mehr für Anfänger ist ein Lehrbuch von W. Loeb („Grundzüge der Elektrochemie", Leipzig 1897) berechnet. Ein Grenzgebiet des Grenzgebietes behandelt ausführlich H. Koeppe („Physikalische Chemie in der Medizin", Wien 1900). Die Dissoziationstheorie und die für die Hämodynamik wichtige Lehre vom osmotischen Drucke dürfen, wie W. Pauli („Über physikalisch-chemische Methoden und Probleme in der Medizin", Wien 1900) darthat, auch vom Physiologen fürder nicht mehr ganz unbeachtet gelassen werden.

Von der Elektrochemie vollzieht sich leicht der Übergang zur Photochemie, der Lehre von den chemischen Wirkungen des Lichtes.

Daß solche existieren, ist für uns nichts Neues; wurde doch ausdrücklich hervorgehoben, daß am infraroten Ende des Spektrums die thermische, am ultravioletten Ende hingegen die chemische Aktion der Strahlen ein Maximum erreicht. Auch die Photographie hat uns in dieser Hinsicht viele Daten an die Hand gegeben; wir verweisen z. B. auf das den modernen Standpunkt vertretende Werk von A. Hertzka („Photographische Chemie und Chemikalienkunde“, Berlin 1896). Als unentbehrliche Grundlage bezeichnet die neuere Wissenschaft, wie sie aus den Werken von Ostwald und Nernst zu uns spricht, die von Bunsen und Roscoe (Abschnitt VIII) inaugurierte Aktinometrie, die auch J. W. Draper (1811—1882) unter dem Namen „Photo-Chemistry“ (1874) gepflegt hat. H. W. Vogel (geb. 1834), der erste akademische Lehrer der Photochemie — zuerst am Berliner Gewerbeinstitute, sodann an der dortigen technischen Hochschule — ist seit 1862 ununterbrochen beschäftigt, diesen Teil der chemischen Physik auf seine eigenen Füße zu stellen, wie er denn auch 1868 ein neues Photometer mit der speziellen Bestimmung, chemische Lichtstärken zu messen, angegeben hat. Ihm war es vorbehalten, zu zeigen, daß das Bunsen-Roscoesche Theorem, die chemische Intensität des Sonnenlichtes nehme mit wachsender Höhe der Sonne zu, doch ziemlich weit von der Allgemeingiltigkeit entfernt ist, indem bei dieser Formulierung des Sachverhaltes auf die mancherlei trübenden Einflüsse, wie z. B. auf das Dazwischentreten eines Wolkenschleiers, nicht genügend Bedacht genommen ist. Farbenspiel und Chemismus haben, wie es scheint, gar nichts mit einander gemein, denn die prachtvolle prismatische Dämmerung tropischer Regionen fand H. Krone (geb. 1827) chemisch neutral. An und für sich ist aber, den Angaben J. M. Eders (geb. 1855) zufolge, Licht jedweden Spektrumsteiles zur Ausübung einer gewissen chemischen Wirkung befähigt, und zwar ist, wenigstens metallischen Verbindungen gegenüber, die Aktion der minder brechbaren Strahlen wesentlich eine oxydierende, die der stärker brechbaren Strahlen wesentlich eine reduzierende. Was die eigentliche Messung betrifft, so sind drei Methoden mit einander in Konkurrenz getreten, von denen wohl die elektrochemische, welche

sich der durch Belichtung in chlorierten oder jodierten Silberelektroden ausgelösten elektromotorischen Kraft bedient, die zuverlässigste sein möchte, wie Dewars „Experiments in Electrophotometry" (1878) bekunden. Die chemische Veränderung des bestrahlten Stoffes ist anfänglich keine erhebliche, indem nach Bunsen und Roscoe die photochemische Induktion zu ihrer Entfaltung längere Zeit benötigt; nach E. Pringsheim (1887) wohl aus dem Grunde, weil sich erst eine Zwischenverbindung bilden muß. Die Daguerrotypie hat bereits die Latenz der Lichtthätigkeit in den Silbersalzen als eine der Untersuchung würdige Erscheinung kennen gelehrt. Eine generelle Theorie der chemischen Lichtwirkungen steht noch aus, obschon es an Einzeluntersuchungen für eine solche nicht fehlt. Dieselben dürfen sich auch der Bezugnahme auf die Phototropie nicht entziehen; dies ist (1899) W. Marckwalds Bezeichnung für die Thatsache, daß zum öfteren eine Zustandsänderung infolge von Bestrahlung beobachtet worden ist. Auf den elastisch-flüssigen Aggregatzustand hat J. Tyndall 1869 die photochemische Methodik ausgedehnt, indem er im Versuche zeigte, daß sich Gase und Dämpfe gegen die zersetzende Tendenz des Lichtes keineswegs gleich verhalten, sondern daß dabei eine gewisse Selektion zur Geltung kommt. Bei seinem Bestreben allerdings, die von ihm erzeugten aktinischen Wolken den Kometen gleichzustellen, mußte sich der berühmte englische Experimentator die derbe Zurückweisung F. Zoellners (1872) gefallen lassen. Das neueste Werk über Photochemie rührt von W. Zenker (1900) her.

Jeder chemische Prozeß ist, da für die Molekularphysik nachgewiesenermaßen ein Gleiches gilt, durch Druck und Temperatur bedingt, und andererseits ist die fragliche Umsetzung im Bereiche der Atome von Wärmeerscheinungen und von der Leistung einer gewissen äußeren Arbeit untrennbar. Demzufolge öffnet sich der Spezialdisziplin, welche man Thermochemie nennt, ein weites Gebiet. Sowie zwei Stoffe zu einander in chemische Berührung treten, verändert sich die bis dahin vorhandene Energie des Systemes; es tritt eine Wärmetönung ein. Schon vor dem Bekanntwerden des Energieprinzipes hatte (Abschnitt IX) Heß

ermittelt, daß nach Ablauf einer beliebig langen Reihe chemischer Umlagerungen, falls diese nur wieder — im Kreisprozesse — auf den Anfangszustand zurückführen, die Wärmetönung, die ja an und für sich positiv oder negativ sein kann, den Wert Null annehmen muß. Dieses Heßsche Gesetz der konstanten Wärmesummen steht am Eingange der geistigen Bewegung, welche zur Begründung einer selbständigen Wärmechemie geführt hat. Denn wenn es aus irgend einem Grunde Schwierigkeiten hat, die wechselseitige Beeinflussung zweier Stoffe a und b direkt mittelst des Kalorimeters zu prüfen, so kann man sich nach Heß dadurch helfen, daß man Zwischenkörper m, n, p . . . t u. s. w. einführt und die Kombinationen am — mn — np . . . tb der Messung unterstellt; der Schlußeffekt wird dann derselbe sein, als wenn man a und b direkt zusammengebracht hätte. Damit ist für die Kalorimetrie, deren Anfänge sich auf Laplace und Lavoisier zurückführen lassen, und die später Favre, Silbermann, Bunsen, Kopp, J. Ch. Marignac vervollkommneten, eine feste Unterlage geschaffen. Neuerdings wurde die chemische Seite dieser Spezialdisziplin ausgebaut von zwei hervorragenden Chemikern, auf die wir schon früher, in anderer Gedankenverbindung, Bezug zu nehmen hatten, nämlich von Berthelot und Thomsen; systematische Einkleidung haben der Gesamtheit der hier einzubeziehenden Lehren verliehen A. N. F. Naumann („Grundriß der Thermochemie", Braunschweig 1869; „Lehr- und Handbuch der Thermochemie", ebenda 1881) und H. Jahn („Thermochemie", Wien 1892). Eine erste Aufgabe besteht darin, Lösungs- und Bildungswärmen zu ermitteln, denn es ist klar, daß dann, wenn eine Anzahl von Stoffen (Elementen) zu einer chemischen Verbindung zusammentritt, ein Aufwand von Energie statthaben muß, und nach außen macht sich dieser als Wärme bemerklich. Für die genaue Fixierung der Verbrennungswärmen ist seit sechs Jahrzehnten Vieles geschehen, und soweit es sich um Reaktionen der anorganischen Chemie handelt, darf von sehr sicherer Kenntnis dieses wichtigen Faktors gesprochen werden, aber den Kohlenstoffverbindungen gegenüber ist man nach Nernst noch nicht ganz so weit gekommen, obwohl, dank zumal Berthelot, auch da die Methodik beträchtlichen Fortgang ge-

nommen hat. Zu einem ganz neuen Zyklus von Untersuchungen hat die Ionentheorie Anlaß gegeben, indem man es versuchen mußte und auch schon großenteils mit Glück versucht hat, das bei der elektrolytischen Dissoziation einer Säure frei werdende Wärmequantum zu bestimmen. Auch hier sind Thomsen und Nernst als die beiden Forscher zu nennen, welche eine noch zu weiteren Erfolgen führende Bahn beschritten haben.

Die Thermodynamik hat, wie unsere bisherigen Darlegungen ergaben, der Thermochemie die wesentlichsten Dienste geleistet. Doch trat bislang wesentlich nur der erste Hauptsatz, dessen Genese Abschnitt XI aufklärte, in seine Rechte, während auch der zweite, dessen scharfe Formulierung damals auf Clausius zurückgeführt ward, ein umfassendes Gebiet der Anwendung für sich in Anspruch nimmt. A. F. Horstmann (geb. 1842), Boltzmann, van der Waals, van t'Hoff, Planck, Riecke u. a. haben die Potentialtheorie, deren souveräne Bedeutung für alle Naturvorgänge uns schon durch verschiedene Abschnitte dieses Buches vor Augen geführt worden ist, auf derartige Fragen angewandt, und als besonders einflußreich sind die Arbeiten von H. L. Le Chatelier (geb. 1850) und J. W. Gibbs (Abschnitt XV) zu nennen. Letzterer betrat eine neue Bahn mit seiner Abhandlung „On the Equilibrium of Heterogeneous Substances“, welche in der zweiten Hälfte der siebziger Jahre von der Connecticut-Akademie publiziert wurde. Wie kommt es, so lautete die Frage, welche er sich selbst zur Beantwortung vorlegte, daß ein chemisches System der Homogenität entbehren und doch sich im Gleichgewichte befinden kann? Muß nicht in solchem Falle eine stetige Diffusionsbewegung so lange eingeleitet werden, bis die Heterogeneität vollständig beseitigt ist? Nur dann, wenn verschiedene Komplexe miteinander verbunden sind, deren jeder, für sich allein betrachtet, aus homogener Materie zusammengesetzt ist, einerlei, wie sein besonderer Aggregatzustand beschaffen sein möge, kann eine solche Anordnung als möglich erscheinen. Mit den Hilfsmitteln der Variationsrechnung, die hier wohl erstmalig in die Chemie hineingetragen ward, stellt Gibbs die Gleichgewichtsbedingungen für ein solches heterogenes System fest. Für jedes homogene Teilsystem gebraucht er die Bezeichnung Phase. „Solche

Körper," so lautet auf deutsch seine Begriffsbestimmung, „welche hinsichtlich der Zusammensetzung" — Gemenge, chemische Verbindung — „voneinander verschieden sind, heißen abweichende Phasen der in Rede stehenden Stoffe, wogegen alle Körper, die nur in Größe und Form nicht übereinstimmen, als verschiedene Beispiele der nämlichen Phase zu gelten haben". Die abstrakt lautende Definition vermochte der amerikanische Physiker durch seine Phasenregel sehr fruchtbar zu gestalten; dieselbe besagt, wie viele Gattungen von Molekülen zusammenkommen müssen, um ein aus einer gegebenen Anzahl von Phasen bestehendes, das heterogene Gleichgewicht einhaltendes System aufzubauen. Als ein nahe liegendes, einfaches Beispiel wird die Koexistenz von Eis, Wasser und Wasserdampf, dreier verschiedener Phasen, zu betrachten sein, die sich gleichwohl in demselben Systeme, allerdings nur unter gewissen Bedingungen, zusammenfinden können. Auf die übersichtliche Darstellung der Gleichgewichtsverhältnisse vermittelst der sogenannten Grenzkurven, für deren ganze Ausdehnung zwei ungleiche Phasen zusammen bestehen, kann nicht eingegangen werden; durch Nernst und B. H. Roozeboom sind die Einzelheiten dieser überaus verwendbaren Graphik sehr vervollkommnet worden. Die Phasen können, wie wir sahen, sehr wohl in gasförmigem Zustande das System bilden helfen; wird dieser Zustand ausgeschlossen, wie dies im konkreten Falle beim Schmelzen fester Körper und allgemeiner bei van t'Hoffs (1884) kondensierten Systemen zutrifft, so treten natürlich Vereinfachungen ein; hierher gehört auch die in Abschnitt IX bezüglich ihres Auftretens in der Geschichte verfolgte Allotropie. Ein Verfahren zur Ermittlung der Umwandelungstemperatur oder doch einer Einschließung derselben zwischen zwei nicht sehr distante Grenzen rührt gleichfalls von van t'Hoff her. Das Verdienst des genialen Niederländers ist es überhaupt, die Herrschaft der mechanischen Wärmetheorie in dem weiten Bereiche der chemischen Prozesse außer Zweifel gesetzt zu haben.

Die Absicht der Thermochemie war in erster Linie nur darauf gerichtet, die Beziehungen zwischen der Temperatur und den Normen des chemischen Gleichgewichtes ausfindig zu machen.

Allein da die Herstellung irgend einer Verbindung kein instantaner Akt ist, sondern da Zeit dazu gehört, die Atome und Moleküle aus der einen Lagerung in eine andere überzuführen, so ist auch der Gedanke nahe liegend, daß die Geschwindigkeit, mit welcher sich eine interne Umsetzung vollzieht, von der Temperatur abhängen möchte. So verhält es sich denn auch, und zwar nimmt diese Geschwindigkeit zugleich mit der Temperatur zu; den Betrag der Zunahme lediglich aus der Atomistik von Clausius-Kroenig herzuleiten, ist jedoch nicht möglich, und es müssen nach Arrhenius noch weitere Hypothesen hinzugenommen werden. Von erhöhtem Interesse sind die stürmischen Reaktionen — Inflammation, Explosion u. s. w. —, wobei Steigerung der Reaktionsgeschwindigkeit und durch diese bedingte Wärmezufuhr sich gegenseitig in die Hände arbeiten. Französische Forscher — Berthelot, F. E. Mallard (1833—1894), J. M. L. Vieille (geb. 1814), Le Chatelier u. a. — haben sogar sehr ernsthafte Versuche gemacht, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Explosion entzündlicher Gemische zu bestimmen, wobei sich zeigte, daß die Natur des Sprengmittels von sehr erheblichem Einflusse ist.

Unsere gedrängte Überschau über die Errungenschaften der Thermochemie diente dazu, darzuthun, daß die Umwandlungen der Materie, welche unter der Einwirkung der Wärme eintreten, nach den Grundsätzen einer rationellen Atomistik nicht allein qualitativ begriffen, sondern auch, wennschon noch nicht unter allen Umständen, quantitativ fixiert werden können. Wenn es sich aber so verhält, dann ist es gewiß auch an der Zeit, mit ungemein verbessertem Apparate und deshalb auch unter weit günstigeren Auspizien auf die Bestrebungen zurückzukommen, denen Graf Berthollet in der früher erwähnten „Statique chimique" von 1803 einen für seine Zeit nicht nur passenden, sondern derselben eigentlich schon weit vorauseilenden Ausdruck verliehen hatte. Aber bei der chemischen Statik, welche lediglich die Bedingungen des Gleichgewichtes untersucht, kann es jetzt schon sein Bewenden nicht mehr haben, sondern ihr muß eine chemische Kinetik an die Seite treten, deren Notwendigkeit und Berechtigung ja allein schon durch den soeben betrachteten Begriff der Reaktionsgeschwindigkeit

illustriert wird. Zwei Norweger, der Mathematiker C. M. Guldberg (geb. 1836) und der Chemiker P. Waage (geb. 1833), welch letzterer durch sein Ebullioskop (1879), ein zur Bestimmung des Alkoholgehaltes in geistigen Getränken dienliches Instrument, auch der analytischen Chemie Vorschub leistete, sind vor etwas über dreißig Jahren daran gegangen, die Affinitätslehre den fortgeschrittenen Anschauungen der Neuzeit entsprechend umzugestalten. Der Gedanke, die Mathematik in der Chemie zur Anwendung zu bringen, war ja an sich kein neuer, da seit Richter wenigstens die Berechtigung und Notwendigkeit einer derartigen Verknüpfung der beiden Wissenschaften kaum mehr beanstandet werden konnte. Sodann hatte auch W. C. Wittwer (geb. 1823) sehr eifrig an der Begründung einer mathematischen Chemie gearbeitet, deren Basis mit derjenigen von Redtenbachers Dynamidensystem — starre Atome, umgeben von Ätherhüllen — zusammenfiel, aber, worauf noch kaum gehörig hingewiesen worden zu sein scheint, auch schon mit Glück stereochemische Vorstellungen verwertete. Endlich sind nicht minder in der früher (Abschnitt XI) zitierten Schrift von Wilhelmy über die Wärme ähnliche, nur noch nicht hinlänglich bestimmt gefaßte Ideen zu erkennen, und auch sonst kamen gelegentlich Andeutungen vor, die aber viel zu wenig bekannt wurden, als daß durch das unleugbare Vorhandensein einzelner Vorgänger das Verdienst von Guldberg und Waage geschmälert würde. Damit die Theorie sich des spröden Gegenstandes bemächtigen konnte, bedurfte es natürlich zuerst einer prinzipiellen Auseinandersetzung über die grundlegenden Begriffe Atom und Molekül, deren Trennung, wie wir gesehen haben, durch Avogadro angebahnt und seitdem immer mehr als eine so gut wie axiomatische Thatsache erkannt worden war.

Das Molekül denken wir uns im Sinne der Raumchemie als einen Aufbau aus gleichartigen Atomen, und eben die Art und Weise, wie dieser Aufbau stereometrisch erfolgte, entscheidet über die Natur der betreffenden Verbindung. Dieser Umstand erklärt es, daß man, wie man dies schon aus Kopps im Jahre 1855 angestellten Untersuchungen über die Kohlenstoffverbindungen schließen kann, in die Lage gesetzt ist, aus den Volumgrößen der Atome additiv

das Volumen des Moleküls zu berechnen. Ganz ebenso bestimmt sich nach Landolt, J. W. Brühl (geb. 1850) u. a. die Molekularrefraktion einer Verbindung aus der Summe der Atomrefraktionen. Jenes Additionsgesetz also, welches erwähntermaßen das Verhalten von Gemischen regelt, tritt uns mithin auch bei Verbindungen, wenigstens in vielen Fällen, entgegen, aber natürlich nicht schlechtweg und generell; denn träfe dieses zu, dann wären die Konstitutionen sehr vieler Körper so einfach, daß eine Rücksichtnahme auf den geometrischen Charakter ihrer Struktur gar nicht mehr von nöten wäre. Neben den additiven Eigenschaften muß es deshalb, wie Ostwald hervorhebt, auch konstitutive geben, und eben derselbe Forscher unterscheidet auch noch eine dritte Gruppe von Individualitätsäußerungen, die kolligativen, für die lediglich das Gesamtgewicht des Moleküls maßgebend sein soll. Daß auch die Frage nach der absoluten Größe der Moleküle, die ja schon durch die in Abschnitt XV berührten Arbeiten von Loschmidt in Fluß gebracht worden war, hier in den Gesichtskreis der physikalischen Chemie treten mußte, versteht sich wohl von selbst. Der Niederländer van der Waals war bei Aufstellung seiner uns bekannten Zustandsgleichung einem direkteren Verfahren, als es die Loschmidtsche Schätzung sein konnte und wollte, auf die Spur gekommen, indem er gefunden hatte, daß eine gewisse Größe, welche in jene Gleichung eingeht, dem vierfachen Volumen des für den betreffenden Grundstoff charakteristischen Moleküls gleich ist. So konnten, kugelförmige Gestalt vorausgesetzt, sowohl der lineare Durchmesser als auch die Dichte der Moleküle mit einer schon weit größeren Genauigkeit in Zahlen ausgedrückt werden; Nernst berechnet z. B. den Durchmesser des Moleküls der Kohlensäure zu 0,00000029 Millimeter. Durch Heranziehung des Gesetzes von Avogadro sind dann auch die Schlüsse auf Gewicht und Anzahl der Moleküle ermöglicht.

Daß man, mit solch gefestigtem Boden unter den Füßen, mit mehr Aussicht auf Erfolg, an die Behandlung der chemischen Verwandtschaftslehre heranzutreten in der Lage ist, wird unbedingt zuzugeben sein. Zunächst handelt es sich also um das chemische Gleichgewicht eines Systemes, und dieses ist dann erreicht, wenn die

wechselseitigen Einwirkungen der Substanzen, aus denen sich das System zusammensetzt, ihre Zeit gedauert haben. Das Gleichgewicht wird freilich mitunter erst in ungeheuer langen Zeiträumen erreicht, wie denn ein abgeschlossen gehaltenes Gemenge von Wasserstoff und Sauerstoff, wenn die Temperatur sich wesentlich gleich bleibt, Jahre lang aufbewahrt werden kann, ohne in Wasser überzugehen, und ehe dieser Endzustand eingetreten, sind zweifellos immer noch Reaktionen im Gange, und ein chemisch-statisches Verhältnis hat sich noch nicht herausgebildet. Wenn aber dieser Fall eingetreten, so braucht noch immer nicht die Folgerung gezogen zu werden, daß nun die Umsetzungen im Inneren des Systemes ganz und gar aufgehört hätten. Es ist vielmehr, und das ist offenbar eine allgemeinere Annahme, wohl denkbar, daß Umsetzungen in dem einen Sinne gleichwertige Umsetzungen im entgegengesetzten Sinne gegenüberstehen, so daß also die Summen dieser Prozesse mit verschiedenen Zeichen gleich gesetzt werden müssen und als Gesamtsumme Null ergeben. Multipliziert man sämtliche räumliche Konzentrationen des einen und anderen Bewegungssinnes noch mit der zugehörigen, als Geschwindigkeitskoëffizient bezeichneten Konstanten, so erhält man zwei charakteristische Produkte, und die Gleichsetzung dieser Produkte repräsentiert das Grundgesetz der chemischen Statik. So haben es Guldberg und Waage und, übereinstimmend mit ihnen, wiewohl in gegenseitiger Unabhängigkeit, etwas später (1877) van t'Hoff ausgesprochen; die ebenso kurze wie inhaltreiche Note, die J. H. Jellett (geb. 1817) im Jahre 1873 als „Question of Chemical Equilibrium" in die Welt sandte, läuft auf den nämlichen Grundgedanken hinaus, und auch L. Pfaundler hat schon 1867 dahin zielende Ansichten ausgesprochen. Unter denjenigen, die sich mit besonderem Erfolge um die Begründung und Anwendung des Gesetzes bemüht haben, ist namentlich Horstmann anzuführen.

Mit diesem verhältnismäßig einfachen Satze hat man nun die Theorie der Gase in einheitlichem Bilde zusammenzufassen gesucht. Als ein wesentlich vereinfachter Unterfall der allgemeinen Gleichung zog zuvörderst derjenige die Aufmerksamkeit der Fachmänner auf sich, der den Dissoziationserscheinungen entspricht; die chemischen

Verbindungen werden, ebenso wie die Moleküle, durch geeignete Regulierung von Druck und Temperatur in ihre Urbestandteile zerspalten. Daß der galvanische Strom eine Auflösung von Molekülen in Jonen zu bewirken vermag, ist uns nichts Neues mehr. Ein besonders fesselndes Problem wurde gestellt durch die Dissoziation der Ester, welche wir im vorigen Abschnitte schon zu betrachten hatten, und die, wie N. Menschutkin (geb. 1842) darthat, durch Einwirkung von Alkohol zum Zerfallen in Kohlenwasserstoff und Säure gebracht werden können. Die betreffenden chemischen Gleichungen — dieses Wort nicht im üblichen übertragenen Sinne, sondern in der Ausdrucksweise des Mathematikers genommen — wurden von Nernst aufgestellt und diskutiert. Soweit inhomogene Systeme in Frage kommen, tritt die Phasenregel von Gibbs als das hodegetische Prinzip in Kraft, indem noch die allerdings blos auf der Erfahrung beruhende Thatsache hinzukommt, daß der Gleichgewichtszustand durch die in jeder Phase vertretene Gewichtsmenge nicht berührt wird. Die Arbeiten von G. Wiedemann, Müller-Erzbach, N. F. J. Isambert (1836 bis 1890) u. a. haben die Dissoziationsphänomene, welche bei Verdampfung, Lösung, Auskrystallisieren u. s. w. inmitte liegen, allseitig untersucht, und es eignet diesen anscheinend recht abstrakten Studien durchaus nicht blos ein theoretisches Interesse, wie z. B. des jüngeren J. N. Witt (geb. 1853) — der Vater O. N. Witt (1808—1872) ist in Rußland mit chemisch-technischen Unternehmungen bahnbrechend vorgegangen — Bearbeitung des Färbereiprozesses (von 1876 an) bekundet. Über die Art und Weise, wie sich die Fasern des in die Beize gelegten Stoffes gegen jene verhalten, erhielt man Aufschluß durch den Nachweis, daß sich der Farbstoff in der Faser geradezu auflöst, so daß also, der früher erwähnten Definition van t'Hoffs gemäß, eine feste Lösung gebildet wird.

An die Fundamentalgleichung der Statik reiht sich in Konsequenz des Prinzipes, welches die grundlegenden Bearbeitungen aufstellten, unmittelbar diejenige der chemischen Kinetik an. Ostwald schreibt das erste Auftreten kinetischer Vorstellungen dem Sachsen F. X. Wenzel (1740—1793) zu, der die berühmte Meissener

Porzellanmanufaktur zu leiten hatte; seine Ansichten lernt man am besten kennen durch die von Berzelius wohl gewürdigte Schrift „Wenzels Lehre von der Verwandtschaft der Körper“ (Dresden 1800), welche von D. H. Grindel (1776—1836) herausgegeben worden ist. Die Geschwindigkeit des Umsatzes in der einen und anderen der beiden entgegengesetzten Richtungen sind jetzt nicht mehr gleich groß, und so ist auch ihre Differenz nicht Null, sondern eine hiervon verschiedene Größe. Guldberg und Waage führten die einfache, aber schematische Identität, welche hiermit gegeben ist, in eine Differentialgleichung über, aus deren Integration die — oben schon am Beispiele des Wassers erläuterte — Erkenntnis folgt, daß im strengsten Sinne erst von unendlich langer Zeitdauer die Herbeiführung des chemischen Gleichgewichtes erwartet werden kann. Die Physik kennt diese Art einer Annäherung an den Endzustand, die in die Reihe der asymptotischen gehört, als aperiodisch. Zu denjenigen kinetischen Vorgängen, die schon seit geraumer Zeit die Aufmerksamkeit der Forscher auf sich gelenkt haben, gehört insbesondere die Zerlegung des Rohrzuckers in Dextrose und Laevulose, d. h. in zwei Lösungen, welche im Saccharimeter, mit dem uns Abschnitt XV bekannt machte, eine Rechts- und Linksdrehung der Polarisationsebene bewirken. Wilhelmy, Ostwald, Arrhenius u. a. haben seit 1850 folgeweise das Fortschreiten dieser Inversion studiert, und es gelang, eine sehr einfache Regel für die Geschwindigkeit anzugeben, mit welcher der Prozeß sich vollzieht. Natürlich muß eine Säure vorhanden sein, um die bereits erwähnte katalytische Aktion einzuleiten. Diese Thätigkeit der Säuren hat man dann in engsten Kausalzusammenhang mit der elektrolytischen Dissoziation gebracht; je energischer eine Säure bei der Inversion eingreift, umso entschiedener dissoziiert sie sich auch, und umgekehrt. Ostwald stellte ferner gegen Ende der achtziger Jahre eine neue Theorie der Verseifung auf, die ebenfalls durch die Lehre von der Jonenwanderung befruchtet wurde: die Inversion des Zuckers weist auf eine Bewegung der Jonen von Wasserstoff, die Verseifung dagegen auf eine solche der Jonen von Hydroxyl (chemisch OH) hin. Die Zurückführung des Verlaufes einer Reaktion auf mathematische

Ausdrücke bahnte 1884 van t'Hoff an. Das Experiment ist der Rechnung zwar noch nicht in jeder Einzelheit bestätigend auf dem Fuße gefolgt, aber in vielen Fällen war es doch möglich, die Resultate des Versuches wenigstens in einer empirischen Formel darzustellen, wie sie immer dann zur Anwendung kommen muß, wenn die Glieder der logischen Kette noch nicht sämtlich aufgedeckt sind. Wenn man z. B., wie dies Landolt 1886 zeigte, Jodsäure, schweflige Säure und Stärkelösung in Wechselwirkung treten läßt, so tritt nach kurzer, aber genau meßbarer Zeit eine blaue Färbung ein, und für diese Zeit wurde ein sehr gut stimmender Ausdruck abgeleitet. Man kann also wohl als Hauptzweck der chemischen Kinetik den hinstellen, daß eine innige Verbindung der üblichen Symbolik der chemischen Gleichungen mit der algebraischen Formelsprache angestrebt wird: indem man diese beiden Darstellungsweisen parallelisiert, sieht man sich in den Stand gesetzt, die Einzelphänomene, aus denen sich die gesamte Reaktion zusammensetzt, nach Maß und Zahl trennen und überblicken zu können. Soweit wäre also der Erfolg zunächst nur mehr ein formaler: da jedoch die Thermochemie den gesamten Erscheinungskomplex auch energetisch aufzufassen lehrt, so ist eine weite Perspektive eröffnet, die schließlich auch den Ausblick in eine rationelle, ganz auf physikalisch-chemischem Wege begründete Molekularphysik eröffnet. Damit wäre das hohe Ziel erreicht, welches sich schon Graf Berthollet gesteckt, und welches auch Laplace als das Ideal, dem nachzustreben sei, bezeichnet hatte.

Wir hatten in den beiden Abschnitten, denen die Registrierung der Fortschritte der Physik oblag, der Arbeiten auf dem Gebiete der Molekularphysik mehrfache Erwähnung zu thun. Doch versparten wir uns bis zu dem Augenblicke, der nunmehr eingetreten ist, die Besprechung des einzigen neueren Werkes, welches ausschließlich diesem grundlegenden Zweige der Physik, und zugleich der Chemie, gewidmet ist, gleichzeitig aber auch die Lehre von den Krystallen auf eine sichere Grundlage zu stellen beabsichtigt. Eben dieser seiner Tendenz halber mußte dieses Werk („Molekularphysik mit besonderer Berücksichtigung mikroskopischer Untersuchungen und Anleitung zu solchen", Leipzig 1888—1889) an diesen Platz

gestellt werden, da der nächstfolgende Abschnitt mit der Weiterbildung der Krystallkunde zu beginnen hat. Der Autor O. Lehmann (geb. 1855) ist, nachdem er schon frühzeitig mit Untersuchungen über die Isomerie seine wissenschaftliche Laufbahn angefangen hatte, von der physikalischen Chemie ausgegangen, hat aber, wie schon der Titel seines Hauptwerkes ersehen läßt, großes Gewicht auf ein Untersuchungsmittel gelegt, welches zuvor gerade für diesen Zweck noch keine ausgedehntere Anwendung gefunden hatte. Das Mikroskop soll zu möglichster Aufklärung über die innere Struktur der Naturkörper und der bei ihrer Metamorphose eintretenden Vorgänge ausgenützt werden. Als Zukunftsbild zeichnet Lehmann ein Verhältnis der Molekularphysik zur Chemie, welches in seiner Art völlig demjenigen entsprechen würde, das wir schon gegenwärtig zwischen theoretischer und experimenteller Physik obwalten sehen. Für jetzt ist natürlich nur an einen weiteren Ausbau der molekularphysikalischen Methodik zu denken, und daß es schon nach dieser Seite hin große Aufgaben zu bewältigen gilt, wird sofort einleuchtend werden, wenn wir die teilweise sehr disparat erscheinenden Gegenstände durchmustern, die in diesem Grenzgebiete eine Stelle beanspruchen können.

Da haben wir zunächst die Zustandsänderungen fester Körper, mit denen sich die Elastizitätslehre abzufinden hat, unter denen aber auch die bis zum langsamen Fließen gesteigerte Plastizität besonders berücksichtigt sein will. In Abschnitt XXII soll dieser Eigenschaft vermeintlich starrer Körper, ihrer geologischen Bedeutung halber, Rechnung getragen werden. Äußerst eingehend wird sodann von Lehmann eine Erscheinung untersucht, deren erstmalige Erwähnung er auf Frankenheim zurückführt, auf den Physiker also, dem schon im achten Abschnitte ein besonders lebhaftes Interesse für die Welt der Moleküle nachgerühmt wurde. Derselbe hatte 1854 einen Tropfen salpetersauren Ammoniaks auf der Glasplatte unter dem Mikroskope stark umgerührt, den üblichen Bildungsprozeß der Kryställchen gestört und dadurch, indem nach und nach die halbflüssige Masse erstarrte, eine ganz eigentümliche Krystallbildung erhalten, die von den unter normalen Verhältnissen eintretenden abwich. Die hier zu Tage tretende Eigenschaft der Körper

nannte Lehmann, wie bemerkt, zuerst physikalische Polymerie, nachher aber Enantiotropie, und mit ihr befaßt sich ein Kapitel seines Werkes, in dem eine Reihe ähnlicher, mehr oder minder bekannter Vorkommnisse der nämlichen Kategorie eingereiht wird. So würden hierher die von den Brückenbautechnikern wohl gekannten Umformungen des Eisens gehören, die Pelouze (Abschnitt IX) und E. Frémy (1814—1894) im Jahre 1854 entdeckten; Erschütterung führt das amorphe Eisen in einen krystallinischen, die Bruchgefahr verstärkenden Zustand über. Bei diesen Prozessen ist, wenigstens bis zu gewissem Grade, Umkehrbarkeit der Modifikationen nachzuweisen; diese fehlt aber der Monotropie, die z. B. eine von Lehmann und D. J. B. Gernez (geb. 1834) aufgefundene Umformung des Schwefels kennzeichnet. Auf die unmittelbar krystallographischen Probleme wird später zurückzukommen sein; mehr physikalisch sind dagegen die Betrachtungen über die Zustandsänderungen flüssiger Körper — Lösungen, Niederschläge, Sättigungspunkt, Schmelzen und Erstarrung, Umwandlung von Gemengen und namentlich auch Tropfenbildung. Für letztere fallen die Experimente von F. E. Reusch (1860) und W. v. Bezold (1886) sehr ins Gewicht. Noch ausführlicher sind die von den Zustandsänderungen gasförmiger Körper handelnden Kapitel gehalten; gar manche seit langer Zeit auf der Tagesordnung stehende Theorie tritt hier in ein neues Licht, so z. B. diejenige, welche das Zustandekommen der in Abschnitt VIII besprochenen Hauchbilder verständlich machen will. Natürlich spielt hier auch die elektrische Dissoziation keine untergeordnete Rolle. Aus diesem massenhaft angesammelten Materiale entsteht sodann ein System der Atomistik, welche als mit den verschiedensten Teilen der Naturwissenschaft — auch organische Körper sind keineswegs ausgeschlossen — wohl verträglich nachzuweisen versucht wird. Der Autor faßt selbst seine Darlegungen nicht so auf, als sollte durch sie jetzt schon eine endgiltige Aufhellung der zahllosen, hier obschwebenden Dunkelheiten erreicht werden, sondern er will Prolegomena als Anregung zu weiterer Forschung liefern, und dies dürfte ihm zweifellos geglückt sein. Gerade diese fast aussichtslos erscheinenden Bemühungen, einen Einblick in das innerste

Gefüge der Körperwelt zu erzielen, haben, so führt er aus, eine Fülle der wichtigsten Untersuchungen ausgelöst, die ohne solchen Anreiz wahrscheinlich ganz unterblieben wären.

Damit ist es an der Zeit, die moderne Ausbildung desjenigen Wissenszweiges gründlicher ins Auge zu fassen, der von sich aus, ohne andere als rein mathematische Hilfsmittel zu verwenden, die Probleme der Molekularstruktur mächtig gefördert hat. Im siebenten Abschnitte haben wir die jugendlich aufstrebende Mineralogie bis zu einer ersten Etappe von einschneidender Wichtigkeit begleitet; seitdem hat sie das Alter männlicher Reife erlangt und mit ihm eine Bedeutung im Gesamtorganismus der Naturwissenschaften, die vor fünfzig Jahren noch kaum das scharfsichtigste Auge voraus-zusehen vermochte.

Zwanzigstes Kapitel.

Mineralogie und Petrographie in neuerer und neuester Zeit.

In der Lehre von den anorganischen Naturkörpern herrschten während der ersten Hälfte des Jahrhunderts zwei divergierende, zeitweise scharfen Gegensatz nicht verleugnende Richtungen, eine geometrische und eine naturhistorische, vor. Die erstere findet prägnanten Ausdruck in den Namen Weiß, Hessel und Bravais, während als Bannerträger der an zweiter Stelle genannten Mohs hervortritt. Wie es uns die Geschichte so häufig vor Augen stellt, hat sich dieser Zwiespalt, der eben doch schließlich in einer gewissen Engherzigkeit beider Heerlager seinen Grund hatte, völlig ausgeglichen, je tiefer die Erkenntnis eindrang. Was man schlechtweg Mineralogie nennt, ist jetzt mit vollem Bewußtsein mit Krystallkunde zu identifizieren, und ihr steht unter dem Zeichen vollster Gleichberechtigung die aus dem früheren Abhängigkeitsverhältnis zur Geologie sich immer entschiedener loslösende Gesteinskunde zur Seite. Beide Disziplinen wollen wir jetzt in dem Entwicklungsgange kennen lernen, den sie im Verlaufe des letztvergangenen Halbjahrhunderts genommen haben.

Seit Bravais befand man sich, wie wir sahen, im Besitze einer beherrschenden, die ganze Krystallographie sozusagen auf eine feste Marschroute verweisenden Wahrheit: Alle überhaupt möglichen Krystallformen waren bekannt. Immerhin blieb noch

Vieles zu thun übrig, um die Geometrie der Krystalle innerlich fester zu begründen und äußerlich besser abzurunden, und an dieser Arbeit beteiligte sich in unserem Zeitraume zuerst der Finländer A. Gadolin (1828—1893). In den Jahren 1867 und 1871 legte er der gelehrten Gesellschaft in Helsingfors die Resultate einer Untersuchung vor, welche er, ganz unabhängig von seinen ihm wahrscheinlich gar nicht bekannt gewordenen Vorläufern, rein geometrisch geführt hatte; dieselbe ist durch Groths deutsche Bearbeitung für Ostwalds „Klassiker" (1896) leicht zugänglich geworden. Ausgehend von seiner Definition der Deckgleichheit (symmetrischen Gleichheit), gelangt Gadolin zur Aufstellung von 32 krystallographischen Gruppen, die er in sechs Klassen einzuteilen lehrt. Dieselben stimmen überein mit denjenigen, auf welche auch schon die empirische Einteilung von Naumann u. a. hingeführt hatte. In methodischer Hinsicht gewann die neue Art der Herleitung aller Möglichkeiten aus einem obersten Prinzipe dadurch, daß konsequent die stereographische Abbildung der Ecken und Kanten durchgeführt ward. Gadolins Verfahren steht, was Einfachheit und Durchsichtigkeit anlangt, obenan, und wenn auch die später unternommenen Versuche, denselben Zweck auf andere Weise zu erreichen, in ihrer Art sehr wertvoll sind und zumal die Verbindung der Krystallographie mit anderen Wissenschaften in höchst geistvoller Weise anbahnen, so erfordern sie doch sämtlich, um verstanden zu werden, ein höheres Maß von Vorkenntnissen.

Einen ganz neuen Weg betrat zuerst L. Sohncke in einer Schrift („Die unbegrenzten regelmäßigen Punktsysteme als Grundlage einer Theorie der Krystallstruktur", Karlsruhe 1876), welcher dann noch zahlreiche, weiter ausführende und schärfer begründende Veröffentlichungen nachgefolgt sind. Die Delafosse-Bravaissche Auffassung der Raumgitter setzte parallele Anordnung aller Krystallelemente voraus, ohne daß diese Annahme als unumgänglich notwendig erscheinen mußte. Indem dieselbe aufgegeben ward, ließ sich der zu lösenden Aufgabe die folgende Einkleidung geben: Es sollen alle überhaupt möglichen regelmäßigen Punktsysteme von allseitig unendlicher Ausdehnung ermittelt

werden. Die hierzu dienende Methode sollte die Vernachlässigung einzelner gleichberechtigter Formen von vornherein unmöglich machen; daß dieser Fall leicht eintreten konnte, hatte Bravais' Beispiel gezeigt, denn von den denkbaren Symmetriearten war eine, die bei Hessel den Namen der Gerenstelligkeit führt, übersehen worden, und erst nachmals (1851) fügte der französische Physiker seiner älteren, nicht ganz vollständigen Tabelle den entsprechenden Nachtrag hinzu. Bei Gadolins Vorgehen war ein solches Übersehen nicht wohl möglich, aber es scheint, daß Sohncke, als er zuerst diese Arbeiten aufnahm, von der Methodik seines so wenig gekannten Vorgängers nicht unterrichtet war. Jedenfalls betrat er einen völlig anderen Weg, indem er an eine Untersuchung des französischen Mathematikers C. Jordan (geb. 1838) anknüpfte. Dieselbe war 1869 in den „Annali di matematica" erschienen, und an sie hatten sich weitere Veröffentlichungen angereiht, deren gemeinschaftlicher Zweck es war, alle denkbaren Gattungen von Bewegungsgruppen ausfindig zu machen. Was das heißen will, bedarf einer besonderen Erläuterung. Ein regelmäßiges, unendliches Punktsystem soll eine Ortsveränderung erfahren haben, so daß also jetzt neben dem Systeme a, das ursprünglich gegeben war, noch ein zweites, ihm kongruentes b besteht. Es giebt Bewegungen, die so beschaffen sind, daß sie, nachdem b zuerst mit a zur Koinzidenz gebracht war, eine neue, von der ersten verschiedene Koinzidenz herbeiführen, und solche Bewegungen bezeichnete Sohncke als Deckungsbewegungen; dieselben können Bewegungen translatorischer oder rotatorischer Natur oder auch, aus diesen beiden zusammengesetzt, Schraubenbewegungen sein. Alle noch so komplizierten Bewegungen im Raume lassen sich als Aggregate von Schraubenbewegungen darstellen; dies ist der Grund, welcher R. St. Ball (geb. 1840) zu einer neuen, ganz auf die Theorie der Schraube gegründeten Auffassung der Mechanik („Theory of Screws", Dublin 1876) veranlaßte, die durch O. W. Fiedler (geb. 1832) auch nach Deutschland übertragen worden ist. Natürlich giebt es in unserem Falle unendlich viele Deckungsbewegungen eines regelmäßigen Punktsystemes, allein dieselben sind nicht sämtlich untereinander unabhängig, sondern sie lassen sich

auf eine endliche Anzahl von Urbewegungen zurückführen. Jedes reguläre System ist durch eine in sich geschlossene, für die Natur des Systemes charakteristische Mannigfaltigkeit solcher Urbewegungen bestimmt. Man spricht, indem man einen mathematischen Ausdruck verwendet, auf dessen Bedeutung für die neuere Wissenschaft unser dritter Abschnitt hinzuweisen hatte, von einer Gruppe von Bewegungen, und wenn es also möglich ist, sämtliche Bewegungsgruppen zu ermitteln, so ist auch zugleich das von Sohncke gestellte Hauptproblem gelöst. Und diese erstgenannte Aufgabe war eben von Jordan, dem bedeutendsten Vertreter der modernen Gruppentheorie („Traité des substitutions et des équations algébriques“, Paris 1860), im Jahre 1869 erledigt worden; indeß blieb dem Krystallographen noch immer die Pflicht, diese Leistung für die geometrischen Zwecke, die dem Analytiker ferne lagen, nutzbar zu machen. In Jordans Register von 174 Bewegungsgruppen waren z. B. viele enthalten, die mit den Krystallgestalten nichts zu thun haben; von 174 Nummern waren rund 100 als für diesen konkreten Zweck belanglos auszumustern, und auch bezüglich des jetzt bleibenden Restes war noch eine weitere Auslese zu treffen, da sich verschiedene Gruppen der Jordanschen Zählung, die mehrfach gerechnet waren, auf eine einzige zusammenziehen ließen. Solchergestalt wurden also sieben Klassen von Raumgittern aufgestellt und nach der Anzahl der für sie nachweisbaren Scharen von Symmetrieebenen unterschieden, und diesen traten acht Klassen von regelmäßigen Punktsystemen zur Seite, indem je eine Klasse der zweiten Art einer dieselbe Ordnungszahl tragenden Klasse der ersten Art entspricht, während nur die siebente Klasse der letzteren Kategorie in einer Doppelklasse zum Ausdruck kommt. Geht man endlich zum Vergleiche mit den Krystallsystemen selbst über, so ergiebt sich nachstehende Folge von Identitäten: Klinorhomboidisches System = Kl. I; klinorhombisches System = Kl. II; Rhombisches System = Kl. III; Quadratisches System = Kl. IV; Rhomboëdrisches System = Kl. V; Hexagonales System = Kl. VI; Reguläres System, zugleich den Kl. VII und VIII entsprechend. Diese Art der Betrachtung erfordert nun allerdings eine sehr geübte Raumanschauung, und es ist deshalb als ein wirklicher Fort-



Paul Groth

Originalaufnahme von Franz Hanfstaengl

schritt in der Didaktik zu bezeichnen, daß Sohncke auch einen handlichen Apparat angab, um die verschiedenen regelmäßigen Punktsysteme wirklich vorführen und insbesondere die wechselseitige Transformierbarkeit unmittelbar anschaulich machen zu können.

Von denjenigen Forschern, die sich mit der geometrischen Begründung der Krystallkunde beschäftigten, erscheint nunmehr der Zeit nach auf dem Plane Ph. Curie (1884), dessen Absehen übrigens nur darauf gerichtet ist, die Methode von Bravais wiederaufzunehmen und darzuthun, daß man auch durch deren Anwendung zu einer völlig lückenlosen Tafel aller denkbaren Krystallgestalten gelangen kann. Nur wenig später (1886) griff L. B. Minnigerode (1837—1896), der schon 1862 die Wärmeleitung in Krystallen behandelt und 1884 eine neunklassige Anordnung dieser Körper auf Grund der Anzahl der sogenannten Elastizitätskonstanten eines jeden Systemes bestätigt hatte, auf die Gruppentheorie zurück und gelangte auch auf diese Weise zu einem abschließenden Resultate, wiewohl seine Bezeichnung die thatsächlich zwischen ihm und Anderen obwaltende Übereinstimmung nicht klar genug hervortreten läßt. Natürlich hat dann die Thatsache, daß sich der Arbeitskreis der Krystallonomie als ein in morphologischer Beziehung fest begrenzter, weiterer Ausdehnung nicht mehr fähiger überblicken läßt, auch in die Lehr- und Handbücher unserer Disziplin Aufnahme gefunden. Zuerst dürfte wohl V. v. Langs „Lehrbuch der Krystallographie" (Wien 1866) zu nennen sein; ihm folgten die neueren Auflagen des viel gebrauchten, schon in Abschnitt VII genannten Werkes von Naumann, dessen zwölfte Auflage (1885) F. Zirkel (geb. 1838) herausgegeben hat. Vor allem aber waren es P. Groth (geb. 1843) und Th. Liebisch, die den Spezialuntersuchungen, von denen die Rede war, durch systematische Bearbeitung für Unterrichtszwecke erst die rechte Bedeutung verliehen, wie denn erwähntermaßen Gadolin ohne Groths wiederholten Hinweis wohl kaum zu seinem geschichtlichen Rechte gelangt wäre. Des letzteren „Physikalische Krystallographie und Einleitung in die krystallographische Kenntnis der wichtigsten Substanzen" (Leipzig 1876; 3. Auflage 1895) hat ebenso wie

Liebisch' „Physikalische Krystallographie" (Leipzig 1891) am meisten dazu beigetragen, daß zur Zeit Deutschland als dasjenige Land anerkannt werden muß, in welchem dieses noch reiche Schätze in sich bergende Grenzgebiet zwischen Mathematik, Physik, Chemie und Mineralogie im engeren Sinne die eifrigste Pflege erfährt, um so mehr, da hier auch seit 1877 die von Groth herausgegebene „Zeitschrift für Krystallographie" erscheint. Wie nahe auch die reine Mathematik an den Fortschritten unserer Disziplin beteiligt ist, geht schon aus den Aufschlüssen des siebenten Abschnittes und aus dem hervor, was oben über den Charakter der Arbeiten von Jordan und Sohncke bemerkt wurde. Es hat aber A. Schönflies, der in seinem Werke „Krystallsysteme und Krystallstruktur" (Leipzig 1891) auch dem historischen Momente gerecht wird und z. B. auf die zu wenig beachteten Verdienste eines Moebius und Frankenheim aufmerksam macht, auch noch eine weitere wichtige Wahrnehmung gemacht. Bereits Gauß war sich, wie seine „Zusätze zu A. Seebers Werke über die ternären quadratischen Formen" (1836) beweisen, über den Zusammenhang zwischen Formen- und Raumgittertheorie klar, und gestreift wurde ebenderselbe auch 1850 von Dirichlet und 1877 von E. Selling (geb. 1834). Nach dieser Seite hin eröffnet sich eine weite Perspektive auf lohnende Forschungsarbeit, deren Früchte indirekt auch der Lehre von den Krystallen zu gute kommen müssen.

Diese selbst hat eine wertvolle theoretische Förderung erfahren durch den Russen E. C. v. Fedorow (1889), der die Symmetrieverhältnisse der Krystalle besonderer Prüfung unterzog. Der Begriff der Enantiomorphie ist ein stereometrisch leicht definierbarer; er besagt in unserem Falle, daß man in einem zusammengesetzten Punktsysteme zwei Systeme sich spiegelbildlich zugeordneter Punkte unterscheiden kann. Trifft dies zu, so kann jeder normale Krystall als gleichmäßig aus zweierlei symmetrisch gleichen Krystallmolekülen aufgebaut betrachtet werden, und nur den Ausnahmefall stellt es dar, wenn der Krystall lediglich aus einer einzigen Art solcher Moleküle besteht. Man kann unter diesen Umständen zur bequemeren Demonstration der Krystallformen einen auf dem Prinzipe des Kaleidoskopes (Abschnitt VIII) beruhenden

Apparat herstellen; daß dies angängig sei, hatte schon Moebius in einer nachgelassenen, erst durch F. Kleins Herausgabe der Gesamtwerke bekannt gewordenen Abhandlung bemerkt. Im Jahre 1882 traten solche Apparate auch wirklich ans Licht, die von G. Werner (1839—1881) und A. E. Heß (geb. 1843) erfunden waren. Wieder etwas später wurden dieselben von E. E. v. Fedorow noch vervollkommnet, und dieser fand auch Mittel, um instrumentell demjenigen Falle zu genügen, welcher sich der Verdeutlichung im Kaleidoskope entzieht, weil keine Symmetrieebenen vorhanden sind. Weitere geometrische Untersuchungen der hier in Rede stehenden Art wurden angestellt von E. Blasius (1889) und L. Wulff (1890), auf dessen Einwände hin sich Sohncke zu einer gewissen Erweiterung seiner Strukturtheorie veranlaßt sah. Diese letztere begründete in einem sehr originellen Gedankengange, und von der sonst üblichen Methodik ziemlich abweichend, F. E. Mallard (Abschnitt XIX) in seinem großen Handbuche („Traité de crystallographie géométrique et physique", Paris 1879—1881), welcher die Hauysche Vorstellung vom Aufbau eines dann zum Krystalle werdenden Molekülhaufens fortbildete und darthat, daß einem solchen Gebilde, wenn es sich auch aus unsymmetrischen Bestandteilen zusammensetzt, gleichwohl Symmetrieeigenschaften zukommen können.

Durch die Schrift von Schoenflies, deren wir vorhin gedachten, ist die Möglichkeit gegeben, sich über den Stand unseres Wissens von der Krystallkonstitution, wie er sich vor einem Jahrzehnt herausgebildet hatte, ein zuverlässiges Urteil zu bilden. Jedoch auch nachher hat die Thätigkeit auf diesem Gebiete nicht etwa gerastet. Es ist namentlich v. Fedorow zu nennen, der unermüdet nach der methodischen und sachlichen Seite neue Beiträge lieferte; so ist ihm auch eine Verbesserung der krystallographischen Nomenklatur zu danken, welche vielfach Anklang fand und u. a. auch von Groth adoptiert wurde. Nach dieser Richtung sind auch von A. Březina und F. Becke wertvolle Anregungen ausgegangen. Die prinzipielle Fundierung der Krystallonomie hat sich neuerdings besonders E. Viola zum Ziele gesetzt, der 1897 eine neue, elementare Herleitung der 32 möglichen Krystallklassen vorlegte und die

Identität der beiden grundlegenden Annahmen erwies, welche man als Gesetz der homogenen Verteilung der Materie und als Gesetz der Rationalität der Indizes — nach W. H. Millers „Tract on Crystallography", London 1863, den P. Joerres (geb. 1837) 1864 deutsch wiedergegeben hat — seit geraumer Zeit kennt. Hierher gehören ferner die Arbeiten von V. Goldschmidt (geb. 1853), der nicht minder durch seinen Atlas der Krystallformen (1887) dem Anfänger wie dem Kenner ein höchst wertvolles Anschauungsmittel geliefert hat; es wird darin die gnomonische Projektion angewendet, deren Wesen darin besteht, daß um einen passend gewählten Punkt als Mittelpunkt eine Kugelfläche beschrieben wird, und auf diese alle Ecken und Kanten des Körpers zentral projiziert werden, so daß jede gerade Linie sich in einen größten Kreis verwandeln muß. Den Krystallographen ist es, je allseitiger sie ihre Disziplin zu behandeln lernten, aufgefallen, daß zwischen ihrer Art der Raumbetrachtung und derjenigen der Mathematiker ein gewisser Unterschied besteht. Darum hat F. Herrmann die Beziehungen der Krystallkörper zu den regulären Polyedern, wie sie die „Lehre von der Kugelteilung" (Leipzig 1883) von A. E. Heß (Marburg) auffaßt, und zu den halbregulären Körpern, die E. Ch. Catalan (1814—1897) in das Licht moderner Raumtheorien rückte, einer gründlichen Revision unterzogen, die zweifellos dazu mit verhilft, die natürliche Verbindung zwischen zwei von Hause aus innigst verwandten Wissenszweigen noch zu verstärken. Daß man auch im anderen Lager von dieser Notwendigkeit überzeugt ist, lehrt z. B. ein Blick auf Holzmüllers treffliche „Elemente der Stereometrie" (Leipzig 1899—1900). Von großem Interesse und wahrscheinlich von einer gewissen Tragweite für die Zukunft ist endlich auch der von O. Lehmann und v. Fedorow unternommene Versuch, für die Fundamentalaufgaben der Krystallographie das sogenannte Prinzip der kleinsten Oberfläche zu verwerten. Erwähnung verdient auch das in jüngster Zeit hervorgetretene Bestreben, den überkommenen, aber nicht ganz eindeutigen Begriff des Krystallsystemes durch Herbeiziehung der von J. Ch. Soret (geb. 1854) in die Wissenschaft eingeführten neuen Definition der Syngonie schärfer zu fixieren.

Nachdem wir so die Krystalltheorien bis herab zur Gegenwart verfolgt haben, müssen wir auch der Krystallmessung und den im engeren Sinne mineralogischen Fragen unsere Aufmerksamkeit zuwenden, während Krystallphysik und Krystallchemie, die in den einschlägigen Kapiteln bereits mitbehandelt wurden, nur noch flüchtig gestreift werden sollen. Wir erfuhren, daß seit Wollaston die Reflexionsgoniometer allgemein gebraucht worden sind, und zwar bediente man sich anfänglich zumeist des vertikalen Teilkreises; nachgerade ist demselben durch Malus und Babinet ein horizontaler Teilkreis substituiert worden, und zwar wird das Instrument jetzt mit Vorliebe in derjenigen Justierung gebraucht, welche ihm C. F. M. Websky (1824—1886) im Jahre 1880 erteilt hat. Die Firma Fueß in Berlin liefert diesen — wie jeden anderen krystallometrischen — Apparat in hoher Vollkommenheit. Es hat sich zumal der Webskysche Spalt die allgemeinste Anerkennung erworben; zwei dunkle Kreisplatten können aus entgegengesetzter Richtung mit gleichförmiger Geschwindigkeit in den hellen Lichtkreis hineingedreht werden, so daß man die Lichtlinie beliebig zu verschmälern und zu verbreitern in der Lage ist. Als Hilfsmittel scharfer Einstellung wurde früher gemeiniglich auch das von der Astronomie her bekannte Fadenkreuz gewählt; später aber wandte man sich dem von A. Schrauf (geb. 1837) vorgeschlagenen Kreuzsignale zu, dessen Gebrauch die Augen weniger ermüdet; kurz gesprochen, ist an Stelle des dunklen Doppelstriches auf hellem Grunde ein heller Doppelstrich auf dunklem Grunde getreten, gebildet durch zwei Lichtlinien, die mit dem Horizonte jeweils Winkel von 45° einschließen. Für den Fall, daß man es mit leicht zerstörbaren Krystallen zu thun hat, die etwa an der Luft zerfließen, nimmt man zu Březinas Schutzvorrichtung (1884) seine Zuflucht. Das Goniometer setzt ersichtlich das Vorhandensein von spiegelnden Krystallflächen voraus, allein diese Bedingung findet sich in der Natur keineswegs immer erfüllt, weil sehr oft defekte Exemplare mit korrumpierten, erblindeten Flächen dem Beobachter in die Hände kommen. Hier hilft J. Hirschwalds (geb. 1845) eigens für diesen Zweck erfundenes Mikroskopgoniometer aus (1879), und noch bequemer zu handhaben ist das Fühlhebel-

goniometer des schon genannten Berliner Mechanikers R. Fueß (geb. 1838; Firma „Greiner und Geißler"). Was die mikroskopische Krystallwinkelmessung betrifft, so sind die verschiedenartigsten, durchweg sehr feinen Methoden von Tschermak, v. Fedorow, Abbe und zumal von W. C. Broegger (geb. 1851) im Gebrauche; letztere ordnet sich dem allgemeinen Grundsatze der Schimmermessung unter, d. h. man muß sich, da ein eigentliches Spiegelbild nicht existiert, mit der — nur durch anhaltende Übung eine erhöhte Genauigkeit gewährenden — „Einstellung auf den allgemeinen Reflex" behelfen. Wieder einen bemerkenswerten Fortschritt leitet ein die Übertragung des goniometrischen Universalverfahrens auf die Krystallographie, die Bestimmung von Winkeln in zwei aufeinander senkrecht stehenden Ebenen. Ein Theodolitgoniometer wurde 1893 von verschiedenen Gelehrten, in vollster gegenseitiger Unabhängigkeit, konstruiert; Czapski, v. Fedorow und Goldschmidt haben sich an solchen Modellen versucht, und wiederum ein etwas abgeändertes lieferte 1898 F. Stoeber. Der genannte russische Mineraloge redet mit Recht von einer Universalmethode, und Groth, der berufenste Beurteiler, spricht sich dahin aus, daß das Fedorowsche Konstruktionsprinzip wohl das in Zukunft die krystallometrische Praxis beherrschende sein werde. Alle die bisher besprochenen Apparate werden unter normalen Temperaturverhältnissen benützt, so daß für die Dauer der nämlichen Beobachtung keine erhebliche Änderung des Wärmestandes zu erwarten ist. Es kann aber auch vorkommen, daß man Krystallbildungen in einer Lösung, in einem Schmelzflusse und überhaupt unter der Herrschaft ganz willkürlicher Temperaturzustände verfolgen möchte, und alsdann tritt O. Lehmanns Krystallisationsmikroskop in seine Rechte, welches der Karlsruher Physiker, durch seine Anwendung des Mikroskopes auf chemische Studien uns bereits bekannt, in einer diesen Gegenstand allseitig abhandelnden Schrift („Die Krystallanalyse oder die chemische Analyse durch Beobachtung der Krystallbildung mit Hilfe des Mikroskopes", Leipzig 1891) beschrieben hat. Durch das mechanische Atelier von Voigt und Hochgesang wird das Instrument jetzt in noch verbesserter Form hergestellt.

Diesem Überblicke über die offenbar sehr intensive Fortschritte aufweisende Entwicklung der metrischen Krystallkunde in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts möge zunächst eine Erörterung der Entwicklungsphasen folgen, die eines der wichtigsten mineralogischen Kennzeichen in neuerer und neuester Zeit durchgemacht hat. Wir wissen, daß Mohs die Bestimmung der Härte eines Mineralkörpers durch die seinen Namen tragende Skale zuerst ermöglichte, und diese letztere dient auch noch jetzt dem Praktiker, der darauf angewiesen ist, sich über die Natur irgend eines ihm vorgelegten Stoffes rasch ein Urteil zu bilden. Indessen wird man nicht bestreiten können, daß dieses empirische Verfahren den Anforderungen höherer Wissenschaftlichkeit nicht genügen kann; schon deshalb auch, weil es nur relative, durchaus aber nicht absolute Härtebestimmungen gestattet. Daß solche erwünscht seien, fühlte zuerst der auf so vielen Gebieten schöpferisch vorgegangene Frankenheim („Die Lehre von der Kohäsion“, Breslau 1835), und daraufhin wagte sich Seebeck an die Konstruktion eines eigentlichen Härtemessers oder Sklerometers; eine Spitze wurde mit der zu prüfenden Krystallfläche in Kontakt gebracht und über dieselbe horizontal weggeführt, während zugleich so lange Gewichte aufgelegt wurden, bis sich der Weg der Spitze in einer deutlich erkennbaren Ritzung offenbarte. Die Vorrichtung, welche 1854 W. J. Grailich (Abschnitt XV) und Pekárek zu genaueren Messungen verwendeten, beruhte gleichfalls auf dem Seebeckschen Grundgedanken, und die mühsam zusammengebrachte Beobachtungsreihe entbehrte auch nicht des Nutzens. Aus F. Exners Kontrollarbeit („Untersuchungen über die Härte an Krystallen“, Wien 1873) ging nämlich hervor, daß das Sklerometer nicht mit voller Zuverlässigkeit dazu gebraucht werden könne, verschiedene Krystalle bezüglich ihrer Härte zu vergleichen, wohl aber dazu, zu ermitteln, wie sich die Härtewiderstände in verschiedenen Richtungen der gleichen Krystallfläche zu einander verhalten. Ausgedehnte Versuche stellte weiterhin A. B. J. F. Pfaff (1825—1886) an; doch kann man gegen sein sinnreiches Verfahren (1884) den Einwurf erheben, daß es eigentlich absolute Werte, wie es der Titel des fraglichen Aufsatzes verspricht, nicht zu liefern im stande sei. Kurz, man war zu Anfang

der achtziger Jahre noch eben nicht sonderlich weit über jenes Niveau hinausgekommen, dessen Höhe dreißig Jahre zuvor durch eine Dissertation („De lapidum duritate eamque metiendi nova methodo“, Bonn 1850) von R. Franz (geb. 1827) gekennzeichnet wurde. Da nahm sich einer der ersten deutschen Physiker des hilfsbedürftigen Gegenstandes an. Eine zuerst wenig verbreitete, in einem technischen Organe abgedruckte Abhandlung von H. Hertz leistete nach zwei Seiten hin Abhilfe: Erstens wurde das Wesen der Härte begrifflich fest umschrieben, und zum zweiten ward die sklerometrische Spitze, die doch eben auch nur als eine Kugelfläche von äußerst kleinem Radius gelten konnte, ersetzt durch eine ganz beliebige sphärische Fläche. Auf dem von Hertz vorgezeichneten Wege ist dann mit Energie und Erfolg F. Auerbach vorwärts gegangen. Die neue Definition, die es praktisch auszunützen galt, hatte nachstehenden Wortlaut: Härte ist die Elastizitätsgrenze eines Körpers bei Berührung einer ebenen Fläche desselben mit einer kugelförmigen Fläche eines anderen Körpers. Um diese zunächst noch sehr allgemein klingende Festsetzung besser verwertbar zu machen und zugleich für alle die vorkommenden Molekularzustände sogenannter fester Körper zu aptieren, erklärte 1892 Auerbach die Härte für diejenige „Beanspruchung auf Eindringen“, bei welcher spröde Körper eine Trennung ihrer Teile, plastische Körper dagegen eine stetige Anpassung erleiden. Da hier ein Gegensatz angedeutet ist, auf den die Physik häufig geführt wird, ohne daß doch die Natur desselben genügend geklärt erschiene, so dehnte Auerbach seine Untersuchungen auch noch auf diese Frage aus und regte an, als Plastizität den Überschuß der Festigkeit über die elastische Vollkommenheit zu bezeichnen, während bei Sprödigkeit diese Differenz das entgegengesetzte Zeichen annimmt.

Einen in neuerer Zeit viel gepflegten Bestandteil der Krystallographie bildet die Lehre von den Zersetzungsfiguren; diese Bezeichnung ist nach E. Blasius und Groth zutreffender als der übliche Name Ätzfiguren, welcher sich doch nur auf eine besondere Art der anfangenden Auflösung eines Krystalles bezieht. Begonnen wurde mit dem Studium dieser Gebilde von K. Pape (geb. 1836),

der die langsame Zerstörung von Mineralkörpern, namentlich von wasserhaltigen Salzen, unter der Einwirkung der Atmosphärilien, studierte und 1865 ausführlich die Verwitterungsellipsoide gewisser Krystalle beschrieb; den Einfluß der Temperaturschwankungen auf Art und Größe dieser Grenzflächen lehrt uns eine schon 1895 niedergeschriebene, aber erst 1899 aus dem Nachlasse des Autors von Groth herausgegebene Arbeit Sohnckes kennen. Die regelmäßig gebildeten Korrosionsfiguren, die durch Zusammenbringung einer Krystallfläche mit einer Flüssigkeit entstehen, geben bis zu einem gewissen Grade Aufschluß über die Kohäsionsverhältnisse im Inneren des Krystalles. Kalkspat und Dolomit z. B., chemisch nur durch den stärkeren Zusatz von Bittererde im letzteren verschieden, stimmen in ihren krystallographischen Eigenschaften durchweg überein, aber ihre Ätzfiguren sind, wie Tschermak, der Herausgeber der seit 1878 erscheinenden Zeitschrift „Mineralogische und Petrographische Mitteilungen", dargethan hat, völlig verschieden. Übrigens ist auch nach den eingehenden Untersuchungen von H. Baumhauer (geb. 1848), der die Quarzkrystalle mit besonderem Eifer hierauf prüfte, die Natur des Ätzmittels keineswegs gleichgiltig, und auch der zeitliche Fortschritt der Korrosion — so drückt man sich gerne im Falle chemischer Zerstörung aus, während Korrasion bei den Geologen die Summe mechanischer Eingriffe des fließenden Wassers bedeutet — hängt von verschiedenen Umständen ab. Spring fand z. B., daß längs derjenigen geraden Linie, welche zur optischen Achse senkrecht steht, der Prozeß am schnellsten fortschreitet. Um diese Verhältnisse bequem übersehen zu können, gab 1865 L. Lavizzari (1814—1875), der Begründer einer exakten mineralogisch-geognostischen Durchforschung seines Heimatkantons Tessin, den Rat, aus dem Krystalle eine Kugel auszuschneiden, diese in das Lösungsmittel zu bringen und nach einiger Zeit die Deformationen festzustellen, welche die anfänglich sphärische Fläche erlitten hat. Es zeigt sich nach A. G. Gill, daß nicht nur das optische, sondern auch das elektrische Verhalten des Krystalles für die Veränderungen, welche der Ätzvorgang mit sich bringt, einigermaßen maßgebend ist.

Wir hatten in Abschnitt VII davon Akt zu nehmen, daß Haüys Vorrang vor Romé Delisle wesentlich in des ersteren

Rücksichtnahme auf die Möglichkeit der Zerspaltung eines Krystalles in Körper von analogen geometrischen Eigenschaften begründet war. So spielte denn auch späterhin die Spaltbarkeit der Krystalle, mit deren Wesen sich Sohncke angelegentlich beschäftigte, eine sehr wichtige Rolle in unserem Fache. Senkrecht zu den Spaltungsflächen lassen sich die Teilchen am leichtesten trennen, und in einer diesen Ebenen parallelen Richtung ist deren Verschiebbarkeit eine größtmögliche. Neben den erwähnten Flächen jedoch erheischen auch die von E. Reusch 1867 entdeckten Gleitflächen Beachtung, die sich mittelst der sogenannten Körnerprobe nachweisen lassen. Treibt man das als „Körner" bekannte Werkzeug mit kurzem Schlage in den Krystall hinein, so strahlen von der Zertrennungsstelle geradlinige Sprünge aus, wie man dies bei zertrümmerten Spiegeln zum öfteren sieht, und diese Sprünge sind die Schnittlinien der Krystallfläche mit den Gleitflächen. Baumhauer, Liebisch, O. Mügge (geb. 1858) u. a. haben dieser Erscheinung bei den verschiedensten Krystallen weiter nachgespürt, und v. Fedorow untersuchte ganz allgemein die Konsequenzen, welche eine mechanische Deformation der Krystallkörper für die geometrische Natur derselben hat.

Mit dem Vorhandensein von Spaltungsflächen steht auch das Wachstum der Krystalle in sehr naher Verbindung. Sohncke zog 1888 aus seinen uns bekannten Studien über die Raumgitter den Schluß, daß der Abstand zweier parallelen Netzebenen um so größer ist, je dichter die eine derselben mit Gitterpunkten besetzt ist, und Groth brachte diese Thatsache in die folgende Fassung: Die Ebenen größter Flächendichte sind zugleich die Ebenen größter Spaltbarkeit. Diese Ebenen bilden sich, wenn der Akt der Krystallisierung im Gange ist, mit relativ größter Leichtigkeit, weil in ihnen die Molekularaktion einen besonders geringen Wert annimmt. Bei der Mehrzahl der Krystallkörper sind denn auch die Spaltungsflächen die am meisten ausgebildeten. Es giebt jedoch auch Ausnahmen, und diese sprechen sich am deutlichsten aus in der sogenannten Zwillingsbildung, einer regelmäßigen Verwachsung, welche nach Mallard (1876) auch dem Auftreten optisch anomaler Krystalle zu Grunde liegt.

O. Lehmann hat das Wachstum solcher Körper mit seinem oben erwähnten, eigens für solche Zwecke eingerichteten Mikroskope verfolgt und so die Bedingungen ermittelt, unter welchen die Vergrößerung einen mehr oder minder unregelmäßigen Charakter annimmt. Je schneller sich neue Teile an die zuvor gebildeten Grenzflächen anschließen, je mehr die Viskosität der Lösung wächst, um so wahrscheinlicher ist es, daß eine Alterierung der Regelmäßigkeit bemerkbar wird.

Auf die Krystallphysik, welche das Verhalten der Krystalle gegenüber rein mechanischen, optischen, thermischen und magnetischen Kräften zu betrachten verpflichtet ist, war schon in früheren Abschnitten gelegentlich Bedacht zu nehmen, und statt einer zusammenhängenden Darstellung ihrer neuesten Entwicklungsstadien genügen an dieser Stelle wenige Worte. Eine selbständige Thermodynamik der Krystalle suchte 1897 v. Fedorow zu begründen. Das eigenartige Phänomen eines Zusammengehens der Krystallisation mit dem Aufleuchten eines schwachen Lichtes, schon 1858 von H. Rose wahrgenommen, wurde 1895 von E. Bandrowsky zum Gegenstande besonderer Nachforschung gemacht, die allerdings noch nicht wohl zu abschließenden Ergebnissen führen konnte. Die Piëzoelektrizität, jene von J. und Ph. Curie aufgefundene Eigenschaft pyroelektrischer Krystalle, die sich darin äußert, daß nicht nur — wie sich von selber versteht — Temperaturerhöhungen, sondern auch Zug und Druck das Hervortreten von Polarität in gewissen Achsen auslösen, ist von Roentgen und später (1897) höchst umfassend von W. Voigt (geb. 1850) untersucht worden, der auch die Änderungen feststellte, welchen Winkel- und Volumengrößen bei irgendwie geartetem Drucke unterliegen. Daß auch die optischen Erscheinungen mit betroffen werden, hat F. Pockels bewiesen und als notwendige Folge der hierüber obwaltenden theoretischen Ansichten erhärtet. Von Faradays Nachweis des Krystallmagnetismus war bereits die Rede; Plücker hat 1849 den Zusammenhang zwischen Spaltungsrichtung und magnetischer Kraftbethätigung aufgedeckt und 1859 die magnetische Induktion bei Krystallen der Prüfung durch das Experiment unterstellt. Zwischen elektrischer und kalorischer Leitungsfähigkeit der Krystalle waltet, wie Matteuccis

und Bäckströms Beobachtungen ergaben, eine weitgehende Analogie ob, und J. Beckenkamp wies 1897 nach, daß schon die Krystallbildung als solche elektrische Polarität mit sich bringt. Die Krystalloptik hat den Schatz ihrer Wahrheiten, der sich seit Huygens' Zeit stetig vermehrte, noch beträchtlich anwachsen sehen, seit sie ihre Objekte speziell im polarisierten Lichte untersuchte. Das sogenannte Stauroskop ist eine Erfindung F. v. Kobells (1855). Ist der zu prüfende Krystall derart orientiert, daß von dem ihn passierenden Lichte ein verhältnismäßig maximaler Bruchteil ausgelöscht wird, so findet keine Zerlegung statt, und es tritt eine gewisse kreuzförmige Interferenzfigur (σταυρός, Kreuz) hervor, welche zu besonderen Messungen Veranlassung giebt. Das Studium dieser eigentümlichen Licht- und Farbenringe wurde von Březina und Groth theoretisch und praktisch nach allen Seiten ausgebildet.

Unmöglich kann es unsere Absicht sein, die Erweiterung des Besitzstandes der Mineralogie bezüglich neuer Mineralverbindungen schildernd zu verfolgen, wie sie teils durch die Natur selbst, teils aber auch durch die Technik bekannt geworden sind. Die Vielzahl solcher Körper, deren es zu Linnés und Haüys Zeiten noch nicht allzu viele gab, ist zumal in den letzten Jahrzehnten ganz ungeheuer angewachsen, wie schon ein oberflächlicher Blick in die periodische Litteratur beweist. Die Namen H. und G. Rose, Dana, Daubrée, J. A. Phillips (1822—1887), V. L. Moissenet (geb. 1831), Websky, Mohr, Groth, V. L. v. Zepharovich (1830—1890), K. M. Zerrenner (1818 bis 1878), E. A. H. Laspeyres (geb. 1836), O. Arzruni, K. Oebbecke, R. Brauns, um nur einzelne aus einer großen Fülle herauszugreifen, sprechen in dieser Hinsicht eine sehr beredte Sprache; vor allem seien auch die musterhaften Spezialarbeiten von J. F. K. K. Klein (geb. 1842) hervorgehoben. Der Einzelfall der Edelsteinkunde hat auch sein eigenes Schrifttum erzeugt; Kompendien besitzt man von Schrauf (1869), Groth (1887; 2. Auflage, 1896) und C. Doelter y Cisterich (1892), während die künstliche Darstellung der Schmucksteine F. A. Fouqué (geb. 1828) und M. Lévy in einem selbständigen Werke („Synthèse des minéraux

et des roches", Paris 1882) abgehandelt haben. In der Herstellung von Diamanten im Laboratorium ist Moissan (1895) besonders glücklich gewesen.

Schon frühzeitig bildete sich die Notwendigkeit heraus, die Bestimmung der Mineralien durch besondere Beschreibungen und Tabellen zu erleichtern, sei es, daß dadurch der Anfänger in diese Technik eingeführt, sei es, daß dem im Felde thätigen Forscher ein die Arbeit erleichternder Handweiser zur Verfügung gestellt werden sollte. Seiner älteren „Charakteristik der Mineralien" (Nürnberg 1830—1831) ließ v. Kobell bald ein äußerst bequemes und für solche Arbeiten typisch gewordenes Werkchen („Tafeln zur Bestimmung der Mineralien mittelst chemischer Versuche") folgen, dessen erste Auflage in München 1833, dessen sechste Auflage 1858 erschien, und von dem 1894 K. Oebbeke (geb. 1853) eine dreizehnte Auflage besorgen konnte. Weitere viel gebrauchte Hilfsmittel dieser Art sind K. Haushofers (1839—1895) „Hilfstabellen zur Bestimmung der Gesteinsarten" (München 1867) und K. W. Fuchs' (1837 bis 1886) „Anleitung zur Bestimmung der Mineralien" (Gießen 1875). Die Lötrohrprobe diskutieren ebenfalls Fuchs (1867), G. H. B. Kerl (geb. 1824) (1877) und Hirschwald (1891). Unter den zahlreichen Lehr- und Handbüchern des Faches nimmt dasjenige, welches A. L. O. Legrand Des Cloizeaux (geb. 1817) unter dem Namen „Manuel de minéralogie" (Paris 1862 bis 1874) herausgegeben hat, einen sehr hohen Rang ein, ist aber leider nicht abgeschlossen worden. Von deutschen Werken sind, abgesehen von dem seine Lebenskraft immer aufs neue bethätigenden Naumann, diejenigen von Quenstedt (3. Auflage, Tübingen 1877) und Tschermak (4. Auflage, Wien 1894) von großem Einflusse gewesen, und der Systematik diente ganz besonders Groths „Tabellarische Übersicht der Mineralien nach ihren krystallographisch-chemischen Beziehungen" (4. Auflage, Braunschweig 1898). Die Mineralchemie hat durch Rammelsberg 1860 (2. Auflage, Berlin 1875) ein Handbuch von erschöpfender Reichhaltigkeit erhalten.

Alle diese Schriften greifen, wie es sich nicht vermeiden läßt, gelegentlich auch schon in die Petrographie über, wie denn überhaupt

eine ganz strenge Scheidung zwischen beiden sachlich verwandten Disziplinen nicht wohl durchgeführt werden kann. Es sollte jedoch jetzt der Übergang zur eigentlichen Gesteinskunde vollzogen werden, und nur der Umstand will noch beachtet sein, daß in neuester Zeit der auch für jene grundlegende Begriff des Krystalles eine gewisse Umbildung erfuhr, über deren Bedeutung und Einfluß die Akten zwar noch keineswegs geschlossen sind, an der aber der Historiker gewiß nicht achtlos vorübergehen darf. Wir denken hier weniger an die von H. P. J. Vogelsang (1838—1874) unterschiedenen Krystallite, mikroskopisch kleine Gebilde, in denen jener Forscher die gegen polarisiertes Licht sich zunächst noch neutral verhaltenden Anfänge des Krystallisationsprozesses erblickt, und denen neuerdings W. Prinz auch die Eisblumen an Fenstern, die von ihm mit hingebendem Fleiße analysiert wurden, zurechnen möchte; wir denken vielmehr hauptsächlich an die durch O. Lehmanns uns bereits bekannte „Molekularphysik" eingeführten flüssigen Krystalle. Die Möglichkeit des wechselseitigen Diffundierens fester Körper ist nach Violle und Colon weiter oben (Abschnitt XV) Gegenstand der Besprechung gewesen, und daß auch Krystalle, in geeignete Verbindung miteinander gebracht, positiv zusammenfließen können, ist durch Lehmanns Beobachtungen (1895) als eine jedem Zweifel entrückte Thatsache anzuerkennen. Die Deutung der einschlägigen Vorkommnisse mußte aber, wie dies nicht anders erwartet werden konnte, zu lebhaften Diskussionen den Anstoß geben, als deren Niederschlag und einstweiliges Fazit man Lehmanns erst 1900 veröffentlichte Monographie des flüssigen Krystallzustandes betrachten darf. Dieselbe zielt hauptsächlich darauf ab, einen stetigen Prozeß der Transformation von den flüssigen zu den festen Krystallen zu erhärten; die Beweismethode ist wiederum vorwiegend die mikroskopische, indem beide Arten von Licht, das polarisierte wie das natürliche, zur Anwendung gelangen. Indem der Tropfen der Prüfungsflüssigkeit — als solche empfiehlt sich Azoxyphenetol am besten — zwischen Objektträger und Deckglas frei spielen konnte, ließ sich in ihm deutlich eine krystallinische Struktur erkennen; durch Färbung konnte die

Erkennbarkeit noch namhaft gesteigert werden. Auch eine Gestaltveränderung des Tropfens im Magnetfelde kam zur Beobachtung. Lehmann vermeint mithin um die Notwendigkeit, daß aus der Definition des Wortes „Krystall" das Eigenschaftswort fest ausgeschaltet werden müsse, nicht herumkommen zu können, und da ihm zufolge schon die Tropfenform einen sicheren Anhaltspunkt dafür gewährt, in welches Krystallsystem der starr gewordene Körper sich einordnen lassen werde, so erscheint dem Karlsruher Physiker die nachstehend mitgeteilte Begriffsbestimmung dem wirklichen Sachverhalte am besten zu entsprechen: Ein Krystall ist ein anisotroper, mit molekularer Richtkraft begabter Körper, dessen Aggregatzustand fest oder flüssig sein kann. Als Kriterium des zweitgenannten Zustandes soll lediglich das Fehlen jeglicher Elastizität zu gelten haben. Vielleicht gewährt für die Erforschung dieser Molekularverhältnisse eine gewichtige Unterstützung der von dem Heidelberger Zoologen O. Bütschli (geb. 1848) geführte Nachweis (1898), daß die Mikrostrukturen anorganischer und organischer Materien wesentlich denselben Normen unterliegen. Die mikroskopischen Studien O. Lehmanns und Bütschlis über Quellbarkeit, denen nach der physikalischen Seite hin Quincke, nach der physiologischen Seite hin Schmulewitsch Vorschub leisteten, haben uns mit dem eigentümlich wabig-zelligen Bau solcher Stoffe bekannt gemacht, der im erstarrten Schwefel gleichfalls in die Erscheinung trat (1900). Es leuchtet ein, daß diese ins neue Jahrhundert hinübergehenden, gesicherten Resultate mikroskopischer Forschung dazu beitragen werden, die schon tiefgewurzelte Überzeugung zu verstärken, daß es der zielbewußten Arbeit folgender Generationen gelingen werde, alle die Schranken niederzureißen, welche von einem minder fortgeschrittenen Zeitalter für die Auseinanderhaltung äußerlich abweichender, aber im innersten Wesen übereinstimmender materieller Zustände aufgerichtet worden waren.

Unsere Übersicht über die Ausbildung petrographischer Methoden war im zehnten Abschnitte bis zu jenem Zeitpunkte fortgeführt worden, in welchem die von Sorby empfohlene Dünnschliff-

beobachtung sich zur Geltung durchzuringen begann. Es waren vorzugsweise deutsche Gelehrte, die den hohen Wert des neuen Verfahrens erfaßten und demselben Eingang in die Laboratorien verschafften. So thaten Websky, vom Rath und, mit besonderem Eifer, F. Zirkel, dessen „Lehrbuch der Petrographie" (Bonn 1866; 2. Auflage, Leipzig 1893—1895) grundlegend für den ganzen Wissenszweig geworden ist, und der auch durch spätere selbständige Veröffentlichungen („Die mikroskopische Beschaffenheit der Mineralien und Gesteine", Leipzig 1873; „Microscopical Petrography", New-York 1876) die Systematik kräftig förderte. Ihre Leistungsfähigkeit sollte die neue Untersuchungsmethode sofort erproben bei der Ermittlung des wahren Charakters der aus feurigem Flusse abgeschiedenen Gesteine; Zirkel nahm folgeweise den Phonolith, Trachyt und Basalt in seine Behandlung, und zumal die über letzteren sich verbreitende Monographie (Bonn 1870) entschied nicht bloß die zunächst obschwebende Frage, indem die jetzt allseitig angenommene Klassifikation jener Gesteinsart nach drei Gruppen — Feldspat-, Nephelin- und Leuzitbasalte — erbracht, sondern auch zugleich eine Menge methodischer Fingerzeige gegeben wurde. Die Eigenart der porphyrischen Gesteine, welche sich durch die Einbettung ihrer mineralischen Hauptbestandteile in eine zementierende Grundmasse von den solcher ermangelnden körnigen Gesteinen abheben, bestimmte nahe gleichzeitig Vogelsang („Philosophie der Geologie und mikroskopische Gesteinstudien", Bonn 1867), und wie auf ihn der in Erörterungen über Laven so häufig vorkommende Begriff der Fluidalstruktur zurückgeht, so hat er sich auch ein großes Verdienst um die Erforschung der mineralischen Flüssigkeitseinschlüsse erworben, wobei ihm der vielerfahrene Mechaniker Geißler hilfreich zur Seite stand. H. Davy, Nicol und namentlich Brewster (1826) waren auf dieses merkwürdige Vorkommnis aufmerksam geworden, welches als unwiderleglicher Beweis gegen die Annahme einer plutonistischen Deutung der Gesteinsbildung hingestellt wurde, allein unter dem Eindrucke der von Vogelsang und Dressel erzielten Ergebnisse verkehrte sich dieser vermeintliche Beweis in sein gerades Gegenteil. Die Krystallflüssigkeit ist

verflüssigte Kohlensäure, und es bleibt nur übrig, mit Zirkel einzuräumen, daß während des Ausscheidens der Krystalle aus dem Schmelzflusse ein ganz gewaltiger Druck geherrscht haben muß, wie er nur in ganz bedeutenden Tiefen unter dem Meere, ganz gewiß aber nicht in der Wasserbedeckung der Erde, denkbar erscheint. Die von G. J. S. Jenzsch (1830—1877) aufgestellte Behauptung, daß auch organische Einschlüsse in plutonischen Erstarrungsprodukten vorhanden sein könnten („Mikroskopische Flora und Fauna krystallinischer Massengesteine", Leipzig 1869), konnte gegenüber den Thatsachen, welche L. G. Bornemann noch im gleichen Jahre bekannt gab, nicht aufrecht erhalten werden, obgleich kein Geringerer als Ehrenberg derselben Meinung zuneigte. Hingegen bewahrheiteten sich vollkommen die neuen Aufschlüsse von Zirkel und Vogelsang, und ferner führten die mikroskopischen Beobachtungen von Tschermak (1869) über die von G. K. v. Fritsch (1888) ihrer dunklen Färbung halber so genannte Mineralgruppe der Erebinnite (Augit, Hornblende, schwarzer Glimmer u. s. w.) zu einem übereinstimmenden Endergebnis. Die komplizierte Natur der Silikate, welche bei der Zusammensetzung unserer Erdrinde so schwer ins Gewicht fallen, klärten H. Fischer (1870) und K. Haushofer (1839—1895) (1875) mikroskopisch und chemisch auf. Gegen die Mitte der siebziger Jahre war die Lehre von den gesteinbildenden Mineralien, an welche sich im geognostischen Systeme unmittelbar die Lehre von den felsbildenden Gesteinen anreiht, in das Stadium einer autonomen naturwissenschaftlichen Disziplin eingetreten, und als solche hat sie sich während des nächstfolgenden Vierteljahrhunderts eines geradezu rapiden Aufschwunges zu erfreuen gehabt.

Hierzu verhalf in erster Linie das Erscheinen zweier bahnbrechender Werke des zuerst in Straßburg und seit 1878 in Heidelberg wirkenden Petrographen K. H. F. Rosenbusch (geb. 1836); durch diese Werke („Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigsten Mineralien", Stuttgart 1873, 2. Auflage 1892; „Mikroskopische Physiographie der massigen Gesteine", ebenda 1877, 2. Auflage 1892) schuf sich ihr Verfasser eine so geachtete Stellung, daß man mit v. Zittel sagen kann, derselbe habe sich seitdem mit

Zirkel in die Führerschaft auf dem Gebiete der Gesteinskunde geteilt. J. F. K. Klein in Berlin und A. v. Lasaulx sind unter denjenigen deutschen Forschern hervorragend zu nennen, die sich der Ausbildung der Rosenbuschschen Methodik, besonders in der Vervollkommnung der optischen Klassifikation, mit großem Erfolge widmeten, und nunmehr wurde es möglich zu zeigen, daß jene Mineralien, die seit Werner als akzessorisch bekannt waren und angeblich nur ganz zufällig und gelegentlich in gewissen Gesteinen vorkommen, thatsächlich recht häufig auftreten, daß die meisten Gesteinsarten in Wirklichkeit äußerst verwickelte Mineralzusammensetzungen repräsentieren. Hier griff u. a. mit Geschick und Glück M. J. Schuster (1856—1887) ein, der 1880 für die als Plagioklas bekannte Varietät der Feldspäte eine Identitätsbestimmung auf dem Wege optischer Orientierung ermöglichte. Ausgehend von den Erfahrungen, welche er schon früher an den Kontaktzonen von Schiefer und Granit in den Südvogesen gemacht hatte, konnte Rosenbusch auch die Einflüsse feurigen Flusses auf Sedimentärbildungen klarstellen, deren Bedeutung dann die neuere Zeit — v. Gümbel, J. A. Streng (1830 bis 1897), A. W. Stelzner (1840—1895), der den Granulit näher ergründete, und mancher andere — immer mehr erkannt hat. Die auf den Feldspatgehalt sich gründende Einteilung aller massigen Gesteine in sieben Klassen, welche Rosenbusch in seinem ersten Werke vorbereitete und in der ersten Auflage des zweitgenannten Werkes zur Durchführung brachte, wurde übrigens von ihm selbst dauernd nicht beibehalten, weil ihm die Verwertung rein äußerlicher, mineralogischer Kennzeichen der Anforderung nicht zu genügen schien, daß das System zugleich auch dem genetischen Typus der Gesteine Rechnung tragen solle. Nur dadurch wurde zwischen der Geologie und Petrographie ein fest zusammenhaltendes Band geknüpft, und dem mit den nötigen Kenntnissen ausgerüsteten Geologen bot sich die Möglichkeit, aus der ihm vorgelegten Probe schließen zu können, ob der betreffende, ursprünglich magmatische Fels als Tiefengestein, Ganggestein oder — an der Luft erstarrtes — Ergußgestein im engeren Sinne angesprochen werden müsse. Diese sich strenge an die

Natur haltende Unterscheidung, die mit derjenigen des Jahres 1877 etwa in der Weise in Parallele gestellt werden kann, wie man das natürliche botanische System von Jussieu dem künstlichen von Linné gegenüberstellt, hat rasch bei vielen Anklang gefunden, und die Arbeit der dieser Ansicht zugeneigten Petrographen konzentrierte sich hauptsächlich darauf, die angegebenen Merkmale noch schärfer zu bestimmen. So haben Fouqué und M. Lévy in dem früher erwähnten Lehrbuche der Mineraliensynthese die durch und durch krystallinischen Tiefengesteine, unter denen der Granit tonangebend ist, noch weiter in Untergruppen zu zerlegen begonnen; zunächst standen sie dabei nicht unter dem Einflusse der von Heidelberg ausgegangenen Neuerung, aber der sie leitende Gedanke war doch demjenigen, den Rosenbusch zur Richtschnur nahm, nahe verwandt, und so konnte es nicht fehlen, daß Lévy, als er mit seiner eigenen Systematik hervortrat („Structures et classification des roches éruptives“, Paris 1889), sich in vielen Punkten mit seinem Vorgänger einverstanden erklärte. Eine schärfere Gegensätzlichkeit offenbart sich einzig in der Anschauung über die Ganggesteine, die sich nach Lévy durchaus nicht prinzipiell von den Ergußgesteinen unterscheiden, indem vielmehr das eruptive Magma, je nach den begleitenden Umständen, das eine Mal in dieser und ein anderes Mal in jener Form erkalte. Aus diesem Grunde glaubt der französische Forscher sich nicht so ausschließlich, wie dies Rosenbusch will, der genetischen Kennzeichen bedienen zu dürfen, sondern es müsse dabei auch, als gleichberechtigt, das Auftreten der Gemengteile, mithin ein mineralogisches Kriterium, in Rechnung gezogen werden. Man muß der von Lévy eingeführten Symbolik, welche einigermaßen an A. v. Humboldts Versuch einer geognostischen Pasigraphie gemahnt, nachrühmen, daß sie die wichtigsten Eigenschaften, welche eine bestimmte Gesteinsart kennzeichnen, sehr gut zusammenfaßt, allein zur allgemeinen Anwendung, vorab im Unterrichte, möchte sie sich weniger eignen; denn wenn zugleich Struktur, mineralogische Zusammensetzung und das geologische Moment eines mehrfachen Erstarrungsvorganges Berücksichtigung finden sollen, so muß das betreffende Symbol unumgänglich kompliziert ausfallen. Und daß dem so sei, wird niemand leugnen, der sich

z. B. Lévys Formeln für die primordialen Magmabildungen näher ansieht.

Dem so zu sagen rein mineralogischen Prinzipe huldigt auch Zirkel, der auf diese Weise natürlich in einen gewissen Gegensatz zu Rosenbusch geraten ist, und dieser Gegensatz wird, wenn überhaupt, seinen Ausgleich erst im 20. Jahrhundert finden können. Von Zirkels dreibändigem Handbuche, dessen schon oben Erwähnung geschah, urteilt das Geschichtswerk v. Zittels, daß es für alle Zeit eine fundamentale Bedeutung für die darin abgehandelte Wissenschaft werde beanspruchen können; „wie die erste Auflage gewissermaßen den Schlußstein der älteren Periode bildet, in welcher die makroskopische Untersuchungsmethode vorherrschte, so verhält sich die zweite Auflage zu der modernen Entwicklungsperiode in der Gesteinskunde, worin die mikroskopische und mikrochemische Methode bereits eine hohe Vollkommenheit erreicht hat". Es ist nicht etwa die Rede davon, daß Zirkel die Art des Vorkommens der plutonisch-vulkanischen Gebilde ganz vernachlässigte; vielmehr giebt auch er eine doppelte Tafel der Gesteine dieser Art, deren eine die Feldspatzusätze als wichtigstes Merkmal der Konstitution benützt, während die andere gleichmäßig körnige Gesteine, porphyrische Gesteine und vulkanische Gläser als Überschriften der gebildeten Rubriken gelten läßt. Das beste Beispiel für die Formen der dritten Art giebt der schwarze Obsidian, der „lapis opsianus" der Alten, ab. Gleichmäßig körnig sind auch nach Zirkel wesentlich nur die eigentlichen Tiefengesteine (Batholithen), während die Ergußgesteine in vortertiäre, tertiäre und nachtertiäre zerfallen.

Wir haben bis jetzt lediglich von den Silikatgesteinen gesprochen, deren Material, ehe es erstarrte, Bestandteil einer glutflüssigen Magmamasse gewesen war, und die quantitativ unverhältnismäßig überwiegenden, durch Niederschlag aus dem Wasser entstandenen Sedimentgesteine wurden noch nicht berührt. Dies erklärt sich aus dem Umstande, daß Sandsteine, Kalksteine, Thone, Mergel u. s. w. zwar selbstverständlich auch zum Gegenstande ausgedehnter petrographischer Analyse gemacht worden sind, daß sich jedoch mit ihnen nicht ein gleich hohes theoretisches Interesse

verbindet, wie es den Laven eignet. Für sie reichte auch in der Hauptsache die ältere Betrachtungsweise aus, wie sie in dem uns schon bekannten bahnbrechenden Werke von Bischof, ferner in den Schriften v. Cottas („Die Gesteinslehre“, Freiberg 1855) und J. Roths („Die Gesteinsanalysen in tabellarischer Übersicht und mit kritischen Erläuterungen“, Berlin 1861) angewandt wird. Nur einige hierher gehörige Probleme haben auch der modernen Petrographie die reichste Anregung gegeben, und zwar sind es diejenigen, die sich auf die Entstehung der ältesten, der archäischen Aera angehörigen krystallinischen Schiefer beziehen. Während die Wernersche Schule, auf Saussures Schultern stehend, an eine chemische Absonderung der die Erdoberfläche bedeckenden Wassermassen dachte, erklärten Hutton und seine Anhänger Gneis, Glimmerschiefer und Phyllit für echtes Sedimentgestein, bei dessen Absetzung nur die damals noch weit höhere Erdwärme umschmelzend mitgewirkt habe, und v. Beroldingen wollte, da ja die Zusammensetzung aus Quarz, Feldspat und Glimmer die nämliche sei, überhaupt von keinem tiefer gehenden Unterschiede zwischen Gneis und Granit wissen. Keilhau und Lyell hielten an der neptunistischen Erklärung dieser Schicht- und Schiefergesteine fest; freilich seien dieselben so, wie sie sich uns jetzt darstellen, nicht direkt aus dem Wasser hervorgegangen, sondern sie hätten chemisch, kalorisch — und vielleicht auch elektrisch — allerlei Umwandlungen über sich ergehen lassen müssen, weshalb man sie auch am besten den metamorphischen Gesteinen zuzähle. Nur in der Interpretation des Wesens dieser Metamorphose, nicht jedoch in der Grundvorstellung wichen von diesen Vorgängern, und unter sich selbst, Dana, P. Th. Virlet d'Aoust (1800—?), Scheerer, v. Cotta und Ch. H. Hitchcock (geb. 1836) ab, während Zirkels Individualprüfung (1866) für zwei verschiedene Gattungen von Gneis, ursprünglichen und umgeänderten, zu sprechen schien. Für die Gesamtheit der Vorgänge, die zur Bildung des Gneises führten, hat W. v. Gümbel 1888 das allgemein adoptierte Wort Diagenese eingeführt, und M. Neumayr skizziert den damit zu verbindenden Sinn so präzis, daß wir es für geboten erachten, seine Sätze wörtlich wiederzugeben. „Die diagenetische Theorie nimmt an, daß die krystallinischen

Schiefer wohl mechanisch als Sedimente abgelagert wurden, aber unmittelbar danach unter der Einwirkung von Verhältnissen, die nur dem Urmeere eigen waren, krystallinische Beschaffenheit annahmen. Hoher Atmosphärendruck, hohe Temperatur und ein erhöhtes Lösungsvermögen des Urmeeres sollen bewirkt haben, daß die vom Festlande zugeführten mechanischen Niederschläge und vielleicht auch die vulkanischen Tuffe jener uralten Zeiten bald in einen krystallinischen Zustand übergeführt wurden."

Hiermit sind wir einem ganzen Komplexe von Fragen gegenübergestellt worden, die sämtlich aus der Hauptfrage entspringen: Was versteht man unter Gesteinsmetamorphose überhaupt, und welche Kräfte sind vorzugsweise dabei beteiligt, bereits gebildetem Gesteinsmateriale eine ganz andere Natur aufzuzwingen, als diejenige ist, welche sie, vulgär zu reden, mit auf die Welt gebracht haben? Nachdem schon Lasius, mit dem wir schon im zehnten Abschnitte nähere Bekanntschaft zu schließen hatten, auf jenen morphographischen Unterschied hingewiesen hatte, welcher zwischen Schichtung und Schieferung („cleavage") der Gesteine besteht, und nachdem in der ersten Hälfte des Jahrhunderts Sedgwick, Phillips, die beiden Rogers u. a. die Zerteilung der Bänke in dünne Platten näher untersucht hatten, schickte man sich seit 1850, unter Sorbys Vorgang, zur Nachbildung der Struktur im Versuche an, und bald drang die Ansicht durch, daß stets von einer Druckschieferung gesprochen werden dürfe. Von hervorragenden Fachmännern hat neuerdings (1890) wohl nur noch L. A. J. Roth (1818—1892) an einer wesentlich plutonischen, wenn auch freilich keineswegs ohne jede Mitwirkung des Wassers sich vollziehenden Genese der Schiefer festgehalten. Seitdem durch Tyndall (1856) Daubrée (1861) und F. Pfaff (1873) eine eigentliche experimentelle Geologie ins Leben gerufen war, ließ sich die Thatsache, daß durch seitlichen Druck Schichtgestein in Schiefergestein umgeformt werden kann, augenfällig demonstrieren, und das große, von F. A. Gurlt (geb. 1829) trefflich verdeutschte Werk Daubrées („Études synthétiques de géologie expérimentale", Paris 1879) mußte alle vielleicht noch bestehenden Zweifel endgiltig beseitigen.

Die moderne Gesteinslehre rechnet mit zwei ihrer Natur nach selbständigen, wenn schon ab und zu vereint auftretenden Formen der Gesteinsumbildung, mit dem Druck- oder Regionalmetamorphismus und mit dem Kontaktmetamorphismus. Außer den schon angeführten Forschern ist als einer der Begründer der Lehre von der umgestaltenden Kraft des Druckes Ch. Lossen (1867) zu nennen, der aber doch mutmaßlich zu weit ging, als er den Gneis für eine bloße Varietät des von Dislokationsmetamorphismus beeinflußten Granits ausgab. Daß aber der Erfolg einseitigen Druckes ein ganz gewaltiger sein könne, haben auch Heim, Baltzer, H. Reusch u. a. zugegeben; wie sich die molekulare Umlagerung bethätigen könne, suchte der kroatische Geologe G. Pilar („Grundzüge der Abyssodynamik", Agram 1881) auf graphischem Wege einleuchtend zu machen. J. A. Gosselet (geb. 1832) hielt dafür, daß überhitztes Wasser ebenfalls eine integrierende Rolle bei diesem Prozesse spiele, was auch Lepsius, als er 1893 die vielen Belege der Geologie Griechenlands für die Gesteinsmetamorphose zergliederte, bis zu einem gewissen Grade billigte. J. Lehmann (geb. 1851) und Rosenbusch dehnten die metamorphische Theorie auch auf Eruptivgesteine aus, und es muß letzterem zufolge angenommen werden, daß sowohl magmatische wie auch sedimentäre Felsen sich dynamometamorphisch in geschieferte umwandeln können, während H. Credner und Zirkel einer derartig allgemeinen Auffassung der Druckmetamorphose schon aus dem Grunde widersprechen, weil sonst angesichts der furchtbaren Pressungen, welche die äußere Erdrinde zu allen Zeiten erlitt, das Vorkommen von Schiefern ein noch häufigeres sein müßte, als es thatsächlich ist. Untersuchungen, die W. Salomon (1891) und F. Loewl (1895) über die Tonalitkerne vieler Berge der Zentralalpen anstellten, kommen im Resultate vielfach überein mit solchen von E. Weinschenk (1894) in der Venedigergruppe und belehren uns über das allseitige Vorkommen regionalmetamorphischer Prozesse, mit denen sich dann allerdings nicht selten, wie erwähnt, die kontaktmetamorphischen verschmelzen, die Rosenbusch und J. Lehmann („Einwirkung eines feurigflüssigen Basaltmagmas auf Gesteins- und Mineraleinschlüsse", Bonn 1874) als nicht minder einflußreich nach-

gewiesen haben. Wenn nämlich Intrusivmassen die aus Schichtgestein oder älteren Eruptivbildungen bestehende Decke sprengen und sich gewaltsam den Austritt erzwingen, so muß mit der rein mechanischen Aktion auch eine Art von Verbrennung Hand in Hand gehen. Dahin gehört die (1888) von J. Rüdemann beobachtete, dem Fichtelgebirge eigentümliche Umbildung gewöhnlichen Schiefers in sogenannten Fruchtschiefer, der eine nicht unbeträchtliche Kontaktzone rings um die Austrittsstelle des heißflüssigen Granits erfüllt. Wie häufig gewöhnlicher Kalkstein durch Hitzekontakt zu feinkörnigem Marmor wird, ist eine jedem Gebirgskundigen bekannte Thatsache. Erinnern wir uns daran, daß im Sinne der mechanischen Wärmetheorie molare und molekulare Bewegungen wesentlich auf das Gleiche hinauskommen, so brauchen wir allerdings zwischen den beiden wichtigsten Manifestationen der Gesteinsmetamorphose keinen prinzipiellen Unterschied zu machen.

Während unsere obige Erklärung uns der Verpflichtung überhebt, länger bei der petrographischen Zusammensetzung der durch Absetzung suspendierter Feststoffe aus dem Wasser entstehenden Gesteine zu verweilen, erfordert anderseits der Sedimentationsakt selbst unsere Beachtung, weil ihm ebensosehr eine physisch-geographische als eine petrographische Bedeutung innewohnt. Von anderen Gelehrten abgesehen, die vorwiegend nur die chemische Seite des Ablagerungsprozesses interessierte, haben Ramsay, K. Barus (geb. 1850; als Physiker der „United States Geological Survey" nach Amerika berufen) und namentlich der angesehene französische Geophysiker M. J. O. Thoulet (geb. 1843) die Vielzahl der hier konkurrierenden Fragen erörtert, und 1894 hat K. Weule die gewonnenen Einzelergebnisse zu einem Gesamtbilde vereinigt, während gleich nachher N. Bliß die Aktion der hier wirksamen Molekularkräfte experimentell untersuchte. Um den schon von Bischof bemerkten, von J. Roth weiter verfolgten Umstand verständlich zu machen, daß das Niedersinken der festen Teilchen im Wasser mit sehr verschiedener Geschwindigkeit vor sich geht, wurden die verschiedensten Hypothesen aufgestellt; messende Beobachtungen dagegen fehlten lange, und erst durch Barus und Thoulet wurden

dieselben nachgeholt. Man brachte den feinst verteilten Stoff in hohe, graduierte Glasröhren und maß optisch, nach Umfluß verschieden langer Zeiträume, den nunmehr eingetretenen Trübungsgrad, wobei sich zeigte, daß es sechs Jahre und länger anstehen kann, bis dieser Grad für die oberen Schichten zu Null geworden, die Gesamtmenge also in einer sich langsam verfestigenden Schicht über dem Boden des Gefäßes zusammengekommen ist. Nach Barus ist das mechanische Moment an Einfluß dem chemischen, wenngleich auch dieses nicht unterschätzt werden darf, entschieden überlegen. Bestimmend für den Prozeß sind Dimension, Gestalt und Dichte der schwebenden Partikeln, und daraus ist weiter zu schließen, daß in einunddieselbe dünne Schicht nur Korpuskeln von wesentlich gleicher Beschaffenheit Aufnahme gefunden haben. Die Flockenbildung fand Bliß hauptsächlich durch den Konzentrationsgrad der alkalinischen Lösung bedingt.

Mit dieser Durchmusterung der allgemeinen petrographischen Gesetzmäßigkeiten müssen wir es bewenden lassen; denn so wenig wir im ersten Teile dieses Abschnittes den Fortschritten der beschreibenden Mineralogie nachzugehen vermochten, ebensowenig kann die wahrhaft bestrickende Fülle neuer Gesteinsvarietäten, mit denen uns jeder neue Jahrgang der Fachzeitschriften bekannt machen will, den Gegenstand der Besprechung an solchem Orte bilden. Daß die Mehrzahl der petrographischen Forscher deutschen Ursprungs ist, hebt v. Zittels Geschichtswerk ausdrücklich hervor. Nur ein paar recht charakteristische Einzelheiten seien kurz gestreift. Eine vollständige Litteratur für sich hat das Studium der sogenannten Zeolithe hervorgerufen, wasserhaltiger Silikate, in die neben Thonerde zumeist Kalk oder Natron eingegangen ist, und von denen sich mindestens ein Dutzend Spezialformen — darunter z. B. der im Phonolith häufige Natrolith — unterscheiden lassen. Oder es sei an den in mineralogisch-geologischen Kreisen wohlbekannten Triasvulkan des südtirolischen Örtchens Predazzo erinnert, in dessen nächster Nähe man so ziemlich alle in der Tiefe oder an der Luft erstarrten Magmabildungen zusammenfindet. Hier hat L. v. Buch zuerst die Kennzeichen des Quarz- und Augitporphyrs an der Quelle studiert; hier sammelte gegen Ende der

fünfziger Jahre F. v. Richthofen die Materialien zu der seinen wissenschaftlichen Ruf sofort fest begründenden Erstlingsschrift („Geognostische Beschreibung von Predazzo, St. Kassian und der Seißer-Alpe in Südtirol", Gotha 1860), durch welche den bereits bekannten tertiären Vulkangesteinen — Basalt, Andesit, Trachyt — noch als ältere Lava der Rhyolith zur Seite gestellt ward: hier haben in neuester Zeit der Österreicher v. Mojsisovics und der Norweger Broegger ihre umfassenden Untersuchungen angestellt, welche zur Neuaufstellung einer größeren Reihe von Gesteinsspezies geführt haben. Durch die verfeinerte petrographische Forschung ist mit so manchem fast dogmatische Kraft behauptenden Satze gebrochen worden. So galt noch vor kurzem der Granit als ein unter allen Umständen archäisches Gestein, allein von Broegger und O. v. Nordenskiöld, der insbesondere am norwegischen Berge Sulitelma auf unerwartete Lagerungsverhältnisse stieß, mußten wir uns in den neunziger Jahren belehren lassen, daß Granit in der That jünger als die älteren paläozoischen Schichtenlagen sein, vielleicht sogar ins Mesozoikum hineinreichen kann. Auch die jungvulkanischen Gesteinsarten haben mehrfach eine neue und korrektere Altersbestimmung erfahren, und das Studium der zahlreich nachgewiesenen Zwischen- und Übergangsformen eröffnete eine weite und neue Perspektive; es sei nur an den Monzonit von Predazzo — die Bezeichnung ist einem dortigen Berge entnommen — erinnert, in dessen Geschichte man alle die Entwicklungsphasen der modernen Lithologie sich abspiegeln sehen wollte. Daß diese Disziplin auch mannigfacher technischer Anwendungen fähig ist, läßt sich unschwer darthun. Die Gewinnung des Aluminiums, dieses technisch so verwendbaren Metalles, ist hiefür ein Beweismittel. Man stellt es aus dem sehr merkwürdigen isländischen Kryolith („Eisstein") dar, den 1822 der viel umhergeworfene Mineraloge K. Giesecke (Abschnitt X) zuerst beschrieb; man verwendet auch dazu den oolithisch-erdigen Bauxit, dessen chemische Eigenschaften u. a. von dem Alpinisten K. Th. Petersen (Abschnitt XVI), auch in der Geschichte der Benzole viel genannt, erforscht worden sind. Belege solcher Art ließen sich in beliebiger Menge häufen.

Einige Worte seien auch noch der viel umstrittenen Frage gewidmet, inwieweit bei der Entstehung des Granits und der ihm äquivalenten Gesteinsarten das Wasser mitgewirkt habe. Die Jungneptunisten, wie J. N. Fuchs, Schafhäutl u. s. w. nahmen, wenn sie auch die pyrogene Bildung nicht gänzlich in Abrede stellten, doch wenigstens das Vorhandensein eines stark mit Wasser durchtränkten Magmas an, und zu gewissen Konzessionen an diese Ansicht war auch Scheerer bereit, wogegen J. B. X. Fournet (1801—1869), der die Erstarrung flüssiger Silikate als von besonderen Regeln beherrscht erweisen wollte, Bunsen und J. M. E. Durocher (1817—1860) die seit L. v. Buch zu Ehren gekommene Auffassung unverbrüchlich zu bewahren bestrebt waren. Daß G. Bischof nebst einigen Anhängern den antiplutonistischen Standpunkt sehr scharf hervorkehrte, bedarf kaum der Erwähnung, und O. Volger suchte 1854 sogar eine wechselseitige Transformierbarkeit von Kalkstein und Granit als möglich hinzustellen. Für die Einschlagung eines Mittelweges sprachen dagegen nahe gleich zeitig (1858) Daubrées feinsinnige Versuche und Sorbys Dünnschliffbeobachtungen. Noch ist nicht volle Sicherheit erzielt, so wenig wie über das verwandte Problem, ob ein einheitliches Magma oder eine Vielzahl abweichend zusammengesetzter Magmen anzunehmen sei. Wir kommen hierauf bei der Lehre vom Vulkanismus zurück und erwähnen nur, daß durch einen 1890 publizierten Aufsatz von Rosenbusch die Angelegenheit in ein neues Stadium getreten ist, insofern die Eruptivgesteine als Spaltungsprodukte des an und für sich allerorts homogenen Magmas definiert wurden. Der Trennungsvorgang ist bei einzelnen Gesteinsarten, den Kernen, abgeschlossen, bei anderen dagegen noch im Gange. J. Roth und J. Iddings konnten sich mit der „Kerntheorie“ nicht befreunden, und der Letztgenannte hält dafür, daß, je nach Druck und Temperatur, die nämliche magmatische Masse nach Umständen körnige und porphyrische Struktur bedingen kann, wie dies auch aus A. Lagorios (1888) umfassender Analyse des Ausscheidungsvorganges und der vulkanischen Gläser hervorzugehen scheint.

Aus der didaktischen Litteratur der Petrographie hatten wir bereits einige fundamentale Werke anzuführen, bei denen eben die rein wissenschaftlichen Zwecke die eigentlich unterrichtlichen überwiegen. Diese letzteren haben vorwiegend im Auge H. O. Langs (geb. 1846) „Grundriß der Gesteinslehre" (Leipzig 1877), E. Hussacs „Anleitung zum Bestimmen der gesteinsbildenden Mineralien" (Leipzig 1885), E. Kalkowskys „Elemente der Lithologie" (Heidelberg 1886), M. Lévys und A. Lacroix' „Tableaux des minéraux des roches" (Paris 1888); speziell für den Anfänger J. Blaas' (geb. 1851) „Katechismus der Petrographie" (Leipzig 1888). Einige weitere ausländische Werke (A. Cossa, Ricerche chimiche e microscopiche di roccie o minerali d'Italia, Turin 1881; F. Rutley, Rock-Forming Minerals, London 1888; J. J. H. Teall, British Petrography with special Reference to the Igneous Rocks, ebenda 1888) tragen in der stark hervortretenden Beschränkung auf regionale Verhältnisse mehr einen monographischen Charakter. Neben einer methodischen Behandlung, wie sie der künftige Fachmann verlangen muß, ist jedoch auch eine andere nicht nur zulässig, sondern sogar in hohem Maße erwünscht, welche den Bedürfnissen des Geographen entgegenzukommen trachtet und deshalb die makroskopischen Unterscheidungszeichen in den Vordergrund stellt. Nach dieser Seite hin verdient ein Werkchen von F. Loewl („Die gebirgsbildenden Felsarten", Stuttgart 1893) das vollste Lob. Die neueste Zeit sieht mehr und mehr, nicht nur schriftstellerisch, die Petrographie sich von der Mineralogie loslösen und nach Selbständigkeit ringen, so daß auch an den Hochschulen mit der Errichtung neuer lithologischer Lehrstühle, ohne jedweden weiteren Lehrauftrag, vorgegangen wird. Das vorläufig nur in Einzelfällen gegebene Beispiel dürfte bald allgemeinere Nachahmung finden.

Einundzwanzigstes Kapitel.

Der Eintritt der wissenschaftlichen Erdkunde in die Naturwissenschaften.

Die Wissenschaft von der Erde hat eigentümliche Schicksale gehabt. Im Altertum hatten ihr Strabo und Ptolemaeus zu Ansehen und selbständiger Geltung verholfen, und sogar das Mittelalter ist aus der Geschichte der Geographie keineswegs gänzlich zu streichen. Die große Zeit der Entdeckungen gab begreiflicherweise dem geographischen Interesse einen erneuten und kräftigen Anstoß, aber trotzdem die Litteratur an Umfang und teilweise auch an Gehalt bedeutende Dimensionen annahm, wollte es doch zu keiner rechten systematischen Gestaltung eines Wissenszweiges kommen, der allerdings zu den verschiedensten anderen Disziplinen in engstem Verhältnis stand und deren Geschicke zu teilen verurteilt schien. Erst das 17. Jahrhundert sah eine Änderung sich vorbereiten, allein der Flug, den die Erdkunde unter der Führung zweier Deutschen nahm, erlahmte bald wieder, und die trefflichen Leistungen eines Philipp Clüver und Bernhard Varenius blieben isoliert. Ersterer bearbeitete mit großem Geschicke, gestützt auf ein umfassendes Wissen und auf eine wahrlich nicht verächtliche Autopsie, die Länderkunde unter dem geschichtlich-antiquarischen Gesichtspunkte; Varenius veröffentlichte 1650 seine „Geographia generalis“, worin er den Umfang und das Wesen einer allgemeinen physischen Erdkunde mit einer genialen Sicherheit zeichnete und dieselbe, die vorher nur aus einer wenig geordneten Sammlung

von Rohmaterialien bestand, auf den richtigen Weg brachte. Wir werden im zweitnächsten Abschnitte erfahren, was die neuere und neueste Zeit aus dem Erbe des trefflichen Mannes gemacht hat; ihm selbst entfiel die Feder, noch ehe er das dreißigste Lebensjahr erreicht hatte. Über hundertundfünfzig Jahre bietet dann die Entwicklung der Geographie kein sonderlich anmutendes Bild dar. Die einen ließen dieselbe lediglich als einen Bestandteil der Mathematik gelten; andere betonten ausschließlich das geschichtlich-statistische Element; und zumal die Lehrbücher des 18. Jahrhunderts tragen der Mehrzahl nach eine trostlose Dürre und Gedankenarmut zur Schau. Die Bestrebungen zweier philosophisch denkender Männer hatten bloß einen beschränkten Erfolg. J. Kant hat durch seine geographischen Vorlesungen, die er Jahrzehnte lang an der Universität Königsberg hielt, die naturwissenschaftliche Seite der Erdkunde mächtig gefördert, aber persönlich gab er keine zusammenhängende Darstellung in den Druck, und erst seine von Anderen herausgegebenen Kollegienhefte machten seine Auffassung einem größeren Leserkreise zugänglich. Was der Wissenschaft fehlte, hatte auch J. G. Herder (1744—1803) klar erkannt, und seine 1784 gehaltene Schulrede „Von der Annehmlichkeit, Nützlichkeit und Notwendigkeit der Geographie" läßt bedauern, daß sich seine eigene schöpferische Thätigkeit einzig und allein demjenigen Teile der Wissenschaft zuwandte, den man seit 1882, dem Vorgange F. Ratzels (geb. 1844) folgend, als Anthropogeographie bezeichnet, und der zwar, richtig aufgefaßt, von der Naturwissenschaft auch nicht losgelöst werden kann, immerhin aber zunächst für die Geschichte fruchtbar werden mußte. Noch immer war das Verhältnis der Geographie zur Naturwissenschaft ein unklares und unbestimmtes, und erst das neue Jahrhundert bahnte einen erheblichen Fortschritt an. Zwar war der Mann, dem wir die Erneuerung der Erdkunde verdanken, von Beruf ebenfalls kein Naturforscher, aber der systematische Geist, der ihn beseelte, hat gleichwohl die Mängel, die aus einer zu wenig exakten Vorbildung geflossen waren, auszugleichen vermocht, und wenn wir davon sprechen, daß die Wissenschaft, die bis dahin heimatlos und wenig geachtet dastand, ihre Aufnahme in das Gesamtsystem als gleich-

berechtigtes Glied durchsetzte, so denken wir immer an Karl Ritter (1779—1859) aus Quedlinburg.

Die letzten Jahrzehnte haben uns eine Fülle litterarischer Arbeiten gebracht, deren Autoren die Bedeutung Ritters nach den verschiedensten Seiten hin klarzustellen bemüht waren, und wenn man selbst zuzugeben geneigt sein sollte, daß mancher derselben seine Aufgabe etwas allzu sehr panegyrisch aufgefaßt haben sollte, so bleibt doch wahrlich noch genug reelles Verdienst übrig. Als Knabe und Jüngling war Ritter so glücklich gewesen, einer Erziehung teilhaftig zu werden, welche die in ihm schlummernden Keime zum Wachstum zu bringen vorzüglich geeignet war. Sein Hauslehrer J. C. F. Guts-Muths (1759—1839) war ein eifriger Geograph und gab in diesem Fache Unterricht an der von dem berühmten Pädagogen Salzmann (1744—1811) begründeten Anstalt Schnepfenthal in Thüringen; in diese trat Ritter nach seines Vaters allzu frühem Tode ein und empfing hier eine Summe von Anregungen, die für sein ganzes künftiges Leben nachwirkten. Er wurde später der erste ordentliche Professor für Geographie an einer deutschen Universität, nämlich in Berlin, und wenn auch diese erste Schwalbe nicht sofort einen Sommer machte, wenn es auch noch ziemlich lange dauerte, bis das gute Beispiel die entsprechende Nacheiferung fand, so war doch immerhin das Eis gebrochen, und die Erdkunde, noch vor kurzem ein Sammelsurium disparater Wissensstoffe, begann sich ihrer wahren Stellung bewußt zu werden. Und wenn wir Ritters geistige Arbeit analysieren, so müssen wir doch auch sagen, daß er für die junge Wissenschaft, deren anerkannter Führer er wurde, ein durchaus zutreffendes Prinzip aufstellte, nämlich dieses: Wie sieht innerhalb eines gegebenen Bereiches die Erdoberfläche aus? Man erkennt, daß vorerst nur die Morphographie, die also rein deskriptiv vorzugehen hat, zum Worte kommt; allein es läßt sich gar nicht vermeiden, daß, wenn erst einmal der Sinn für die Oberflächengestalt als solche geweckt ist, bald auch die kausal begründende Morphologie in ihr Recht treten muß. Aus dem trüben und verwirrenden Durcheinander dessen, was man damals politische Geographie nannte, lenkte Ritter ab und

hin zur Betrachtung dessen, was der Natur angehört und bleibend ist, und die Zeit seines ersten Auftretens, während deren sich fast alljährlich die einschneidendsten Grenzveränderungen auf der Landkarte vollzogen, war ganz dazu geschaffen, den Fachgenossen recht deutlich zu machen, daß es doch für die Erdkunde höhere Ziele geben müsse, als die Verbuchung der Zustände, welche Wille und momentanes Waffenglück der Machthaber auf unserem Planeten schaffen. Und wenn dann auch die Richtung, welche damals entstand, in dem Bestreben, eine regelrechte Bedingtheit der geschichtlichen Ereignisse durch die geographischen Verhältnisse nachzuweisen, etwas zu weit ging und sich zu sehr in teleologische Abgründe verlor, so müssen wir in diesem Abschweifen vom geraden Wege wesentlich eine Einwirkung der zeitgenössischen Naturphilosophie erkennen, die ja zeitweise den ganzen Umkreis menschlichen Wissens beherrschte, und der sich gerade ein so philosophischer Kopf, wie es Ritter war, am wenigsten entziehen konnte. Zu einer höheren Auffassung der Geschichte hat der Versuch, darzuthun, daß alles so kommen mußte, wie es kam, doch unzweifelhaft geführt, und in neuester Zeit hat F. Ratzels politische Geographie (1896) den Ritterschen Grundgedanken wieder aufgenommen und, unter Abscheidung manchen Beiwerkes, als einen im Kerne gesunden hervortreten lassen, obwohl, wie gleich bemerkt sein möge, die erwähnte neue Auffassung des Wechselverhältnisses zwischen Erdkunde, Geschichte, Volkswirtschaftslehre und Soziologie ungleich umfassender angelegt ist, als dies vor nahezu hundert Jahren angängig gewesen wäre.

Mächtig hat auf Ritter auch das Beispiel A. v. Humboldts gewirkt, den er zu Frankfurt a. M. in dem Hause, dessen Kinder er zu unterrichten hatte, persönlich kennen lernte. Der große Reisende besaß, wie wenige, die Gabe, anschaulich zu schildern, und man kann sich also leicht denken, daß dem jungen Manne, der den Beruf der Erdwissenschaft schon damals richtig herausgefühlt hatte, Erzählungen unschätzbar sein mußten, bei deren Anhörung er sofort ein Bild der in Rede stehenden Landschaft vor seinem geistigen Auge auftauchen sah. In einem Briefe, der um 1805 an den treuen Guts-Muths geschrieben ward, giebt der

junge Mann seinen Gefühlen lebhaften Ausdruck: „Noch nie wurde von irgend einer Gegend ein so anschauliches, in sich vollkommenes Bild in mir erweckt, als durch Humboldt in mir von den Kordilleren entstand.“ Der berühmte Essay von den Steppen und Wüsten, den die „Ansichten der Natur“ brachten, und der heute noch dazu dient, in geographischen Seminarübungen zu geographischem Denken die beste Anleitung zu geben, wurde auch von Ritter bewundert. Man darf die Bedeutung, welche der Eintritteines Mannes von dem Wesen und von der Anziehungskraft A. v. Humboldts in den Kreis der Frankfurter Geistesaristokratie für eine empfängliche, junge Seele gewinnen mußte, kaum hoch genug einschätzen.

Seit 1803 bereits datiert auch Ritters eigene schriftstellerische Thätigkeit, die von vornherein das Ziel, dem der Autor zusteuert, mit aller Bestimmtheit wahrnehmen läßt. Ein Atlas der physischen Verhältnisse von Europa, der 1806 erschien, gefiel trotz seiner Magerkeit allgemein und leitete eine neue Epoche der geographischen Graphik ein, die dann später, als der ältere Hermann Berghaus (1797—1884), von Humboldt dazu veranlaßt, eine umfassende Kartensammlung unter dem Namen Physikalischer Atlas (1836 — 1848) herausgab, einen großartigen Triumph feierte. In neuerer Zeit ist dieses ausgezeichnete Werk, unter der Mitarbeit einer ganzen Reihe namhafter Fachautoritäten, wiederum aufgelegt worden (seit 1886), und unter der Ägide britischer Forscher wird gerade um die Zeit der Jahrhundertwende ein die Detaillierung und Arbeitsteilung noch weiter treibendes, neben der Lehre auch die Spezialarbeit in erster Linie förderndes Werk vorbereitet; allein so unsäglich weit diese modernen Leistungen das bescheidene Werkchen Ritters inhaltlich und technisch überragen, so darf man doch nicht vergessen, daß sie Zweige eines Baumes darstellen, den der jugendliche Ritter gepflanzt hat. Eine größere selbständige physische Geographie, die derselbe plante, kam nicht zur Vollendung, weil L. v. Buch, der selbstherrliche Gelehrte, den uns Abschnitt X in seiner Eigenart kennen lehrte, die Veröffentlichung des ihm zur Begutachtung vorgelegten Manuskriptes widerriet. Und vielleicht war es gut, daß dieser etwas harte Ausspruch befolgt ward, denn inzwischen konnte Ritter durch Reisen nach der Schweiz

und nach Italien seinen geographischen Blick noch weiter ausbilden und sich so mit stärkerer Ausrüstung derjenigen Seite der Erdkunde zuwenden, die recht eigentlich als die ihm kongeniale bezeichnet werden kann. Das große, zweibändige Werk, welches dem nicht verwöhnten Zeitalter zeigte, was aus einer bisher gering geachteten und wesentlich nur als Schulfach anerkannten Wissenschaft zu machen sei, kam 1817 in Berlin heraus („Die Erdkunde im Verhältnis zur Natur und zur Geschichte des Menschen oder allgemeine vergleichende Geographie als sichere Grundlage des Studiums und Unterrichtes in physikalischen und historischen Wissenschaften"). Wir, die wir des uns eben durch Ritter vermittelten Besitzes froh geworden sind, können uns kaum von dem gewaltigen Eindrucke ein Bild machen, den die neue Leistung in allen Gelehrtenkreisen hervorrief, und namentlich war A. v. Humboldt des Lobes voll, als er einen Ideengang, der vielfach mit seinem eigenen sich deckte, zugleich in schöner, anregender Sprache dargestellt fand. Das Werk erfreute sich, seiner miserablen äußeren Ausstattung zum Trotze, auch bald einer weiten Verbreitung, und diese machte in Bälde eine zweite Ausgabe notwendig. Leider entwarf für diese der Autor einen allzu umfänglichen Plan, den er trotz siebenunddreißigjähriger, angestrengtester Arbeit nicht mehr zu verwirklichen imstande war. Denn als den Achtzigjährigen der Tod abrief, waren erst neunzehn Bände fertig gestellt, in denen Afrika — wie es damals nicht anders sein konnte — ziemlich kurz, Asien aber mit ungeheurer Ausführlichkeit abgehandelt ist. Noch kein Geograph, selbst nicht der mit Recht als Länderbeschreiber hoch geachtete K. Malte Brun (1775—1826), der sich aus einem geborenen Dänen in einen vollkommenen Pariser umgewandelt hatte, war in so hohem Maße der Kunst mächtig gewesen, durch eine Art von Zeugenverhör der Reiseschriftsteller die Bodenkonfiguration der entlegensten Länder aufzuklären, und in dieser virtuosenhaften Behandlung des morphographischen Elementes ist der hohe Wert dessen, was Ritter seiner Wissenschaft war, vielleicht mit noch höherem Rechte zu suchen, als in der Betonung der vergleichenden Geographie, auf welche dieser selbst das Hauptgewicht legte. Denn es ist ihm nicht gelungen, jene Be-

zeichnung in ganz eindeutiger und einwurfsfreier Weise zu definieren, und auch die eifrigen Erörterungen, denen der Begriff seitens der Geographie der Gegenwart unterzogen worden ist, führten zu keiner vollständigen Verständigung. Eine gewisse Gefahr lag unzweifelhaft in dem Streben, den Boden, auf dem sich die geschichtlichen Ereignisse abspielen, als deren unumgängliche Voraussetzung hinzustellen, und vor allem in einer Zeit, welche noch unter den Nachwirkungen des in Abschnitt II gekennzeichneten naturphilosophischen Traumes stand, lag die Gefahr nahe, daß Anhänger der Ritterschen Richtung, minder schüchtern, als der Meister selbst, auf Abwege gerieten. Das ist denn auch nicht ausgeblieben. So ist z. B. die „Philosophie der Erdkunde oder vergleichende allgemeine Erdkunde“ (Braunschweig 1845; auch später wieder aufgelegt) von E. Kapp, so wenig man ihrem Verfasser wird Geist und Kenntnis absprechen wollen, ein sprechendes Zeugnis für eine Verquickung der Geographie mit ganz fremdartigen Betrachtungen, wenn auch gewiß interessant für jeden, der die Übertragung Hegelscher Doktrinen auf ein dem Anscheine nach dazu ganz ungeeignetes Gebiet kennen lernen will. Am höchsten steht unter den Schriftstellern, welche die Ritterschen Grundsätze namentlich auch für Schule und Selbstunterricht fruchtbar zu machen bemüht waren, zweifellos E. A. Th. v. Roon (1805—1879), der berühmte spätere Heeresorganisator des preußischen Staates. Abgeneigt jedweder Übertreibung, dafür aber im Besitze einer noch gründlicheren mathematisch-physikalischen Vorbildung, als sie Ritter selber eigen war, hat er in seinem nachmals mehrfach umgearbeiteten Lehrbuche („Grundzüge der Erd-, Völker- und Staatenkunde“, Berlin 1832) der strebenden Jugend ein wertvolles Geschenk gemacht, das heute noch seines hodegetischen Wertes keineswegs verlustig gegangen ist. Auch die explorative Thätigkeit des Geographen hat der Berliner Altmeister, so wenig ihm auch von fremden Ländern und Völkern mit eigenen Augen zu sehen vergönnt war, mächtig gefördert, und der größte aller Afrika-Reisenden, die es je gegeben hat, Heinrich Barth (1821—1865) holte sich in Ritters Vorlesungen über das Mittelmeerbecken den unstillbaren Trieb, dieses selbst und die es im Süden begrenzenden Negerstaaten zu erforschen.

Man hat oft Humboldt und Ritter als die beiden Choragen der modernen Geographie gepriesen, und es ist auch in der That um so mehr gestattet, beide Männer im gleichen Atemzuge zu nennen, weil sie durch mehr denn fünf Dezennien — beide zahlten hochbetagt der Natur im gleichen Jahre ihren Zoll — enge verbunden arbeiteten und lehrten und sich überhaupt gegenseitig zur willkommensten Ergänzung gereichten. Heutigen Tages ist die große Mehrzahl der zur Abgabe eines Urteiles Berufenen der Ansicht, daß die Erdkunde an der Grenze zwischen Natur- und Geisteswissenschaften steht, und da nun Humboldt in seltener Vollkommenheit die Naturwissenschaften, aber doch mit starkem historischen Einschlage, vertrat, während Ritter, von der anderen Seite herübergekommen, die Unentbehrlichkeit physikalisch-naturhistorischer Anschauungs- und Forschungsweise für sein Fach ebenso unumwunden anerkannte, so wurde durch das Ineinandergreifen der geistigen Arbeit dieses Dioskurenpaares gerade die später auch methodologisch zum Durchbruche gelangte Auffassung des Wesens der Geographie vorbereitet. Ganz in diesem Sinne wirkte auch der deutsche Gelehrte, dem man in den sechziger und siebziger Jahren neidlos eine führende Rolle, so im In- wie im Auslande, zuerkannt hat. Oskar Peschel (1826—1875), durch seine Stellung als Herausgeber der geschätzten geographischen Wochenschrift „Das Ausland" von selber in den Mittelpunkt einer umfassenden sammelnden und kritisch-referierenden Thätigkeit gestellt, hat, so weit er auch in diesem und jenem von Ritter abwich, doch in dessen einigendem Geiste fortgearbeitet und redlich dazu beigetragen, Deutschland die Position einer Vormacht für theoretische Geographie zu wahren, die ihm in jener Zeit, ohne jedwede Überhebung, vindiziert werden kann, während es sich allerdings andere Nationen um so eifriger angelegen sein ließen, der Erdkunde auf dem Wege der Entdeckungen neues Thatsachenmaterial zuzuführen. Auch Peschel blieb es nicht erspart, daß nach seinem allzu frühen Hinscheiden an seinen Schriften vielfältige und zum öfteren herbe Kritik geübt wurde, gerade so, wie er selber mit solcher Ritters Grundlegung der vergleichenden Erdkunde nicht verschont hatte, und gerade sein zumal in formaler Hinsicht

mustergiltiges Hauptwerk („Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde als Versuch einer Morphologie der Erdoberfläche", Leipzig 1868; vierte Auflage, posthum, 1883) hat ihm scharfen sachlichen Widerspruch eingetragen, weil, wie nicht zu leugnen, manche seiner genialen Konzeptionen den strengen Anforderungen nicht genügten, welche die deutschen Geologen, in der Schule L. v. Buchs herangebildet, zu stellen gewohnt waren. Peschel bezeichnete es als eine Hauptaufgabe des forschenden Geographen, aus der Karte die Gesetze der Umbildung der Erdoberfläche herauszulesen, und damit ging er zu weit, denn die Karte, auch die im großen Maßstabe ausgeführte, kann unmöglich von allen den verwickelten Verhältnissen Rechenschaft geben, die hier berücksichtigt werden müssen. Aber auf der anderen Seite gebührt ihm doch auch das Verdienst, die Geographen nachdrücklichst auf das Kartenstudium hingewiesen zu haben, und selbst wenn die exakte Forschung nicht alle Einzelheiten bestätigt hat, die in Peschels reizvollen Essays über Küsten-, Thal- und Inselbildung und verwandte Fragen enthalten sind, so wird man gleichwohl demjenigen, der eigene Untersuchungen über physische Erdkunde anstellen will, die Lektüre der „Neuen Probleme" auch noch in zukünftigen Zeiten anraten dürfen.

Wenn wir vorhin sagten, es sei die Eigenschaft der Geographie, eine Brücke zwischen Geisteswissenschaft und Naturwissenschaft zu schlagen, so gut wie allseitig anerkannt worden, so haben wir jetzt allerdings eine Zusatzbemerkung dahin zu machen, daß es auch eine gegenteilige Auffassung giebt, die zwar nicht durch zahlreiche, wohl aber durch sehr beachtenswerte Ausnahmen repräsentiert ist. Sie konzentriert sich in G. K. Gerland (geb. 1833), der zwar selbst sich als Anthropologe und Ethnologe die wissenschaftlichen Sporen verdient hat, aber gleichwohl den Menschen nicht als Objekt speziell geographischer Untersuchung gelten lassen will. Ihm zufolge (1887) zerfällt die Erdkunde, von ihrer eigenen Geschichte abgesehen, in die vier großen Bestandteile der mathematischen, physikalischen, biologischen und topischen Geographie. Der an dritter Stelle genannte Zweig hat es nur mit den die räumliche Verbreitung der Pflanzen und Tiere regelnden Gesetzen zu thun; die topische

Geographie ist einerlei mit der von naturwissenschaftlicher Grundlage ausgehenden Länderkunde, welche auch als spezielle Erdkunde der aus den drei anderen Disziplinen zusammengesetzten allgemeinen Erdkunde gegenübersteht. Das Wort ist gut gewählt und, worauf einer der gewiegtesten neueren Didaktiker unseres Faches, A. Kirchhoff (geb. 1838) aufmerksam macht, der deutschen Sprache eigentümlich; andere Idiome müssen sich mit einer Umschreibung behelfen, selbst wenn sie über ausgezeichnete länderkundliche Sammelwerke verfügen, wie sie etwa die Franzosen von J. Elisée Reclus (geb. 1830), die Italiener von Giovanni Marinelli (1846—1900) erhalten haben. Statt des in der That etwas unbestimmten Wortes physikalische Geographie hat sich neuerdings auch das Synonym Geophysik — französisch auch „Physique terrestre“, „Physique du globe“ — eingebürgert, welches der Meteorologe A. A. Mühry (1810—1888) zuerst geprägt zu haben scheint, und welches später durch K. J. Zoeppritz (1838—1885), einen von der Physik zur Geographie übergetretenen und um die exakte Behandlung geographischer Probleme überaus verdienten Gelehrten, bei uns recht eigentlich eingebürgert worden ist. Was Gerlands Motiv für seine antianthropogeographische Stellungnahme anlangt, so gipfelt es hauptsächlich in der Abneigung, für die nämliche Wissenschaft eine Berechtigung zweier verschiedener Methoden anzuerkennen, und in Wirklichkeit muß ja auch die Forschungsmethode eine andere sein, je nachdem man es mit den nach unwandelbarer Regel sich abspielenden Erscheinungen der unbelebten Natur oder aber mit Geschehnissen zu thun hat, die auch von dem wechselnden Willen des Menschen beeinflußt erscheinen. Gegen diese scharfe Trennung wird aber eben von anderer Seite eingewendet, daß die Erdkunde ihrem innersten Wesen nach als Grenzgebiet nicht auf ein scharf umgrenztes Untersuchungsverfahren angewiesen sei, sondern ihr Vorgehen nach der Eigenart der ihr vorgelegten Fragen einzurichten habe. Auf alle Fälle jedoch wird man Gerland so weit entgegenkommen dürfen, daß man die allerinnigsten Wechselbeziehungen zwischen der Geographie einesteils, der Naturwissenschaft — und zwar ganz besonders der anorganischen — anderenteils als gegeben annimmt und ersterer damit auch das

Recht zuspricht in einem Geschichtswerke, wie diesem, ihren Platz eingeräumt zu erhalten.

Dies wird um so einleuchtender, wenn man dazu übergeht, die Entwicklung der Erdkunde zum akademischen Nominalfache zu verfolgen. Professoren und Professuren des Lehrfaches hat es auch schon in früherer Zeit gegeben, aber immer nur mehr zufällig und gelegentlich. Übrigens ist auch in dieser Beziehung Deutschland vorangegangen; die junge Universität Göttingen berief zu Anfang der fünfziger Jahre des 18. Jahrhunderts die drei Freunde J. Tob. Mayer, Lowitz und Franz als Professoren der Astronomie, der praktischen Mathematik und der Geographie, die bis dahin in Nürnberg für das große kartographische Atelier von J. B. Homann und zugleich für die mit diesem enge verbundene kosmographische Gesellschaft thätig gewesen waren. Im neuen Jahrhundert war, wie wir erfuhren, Ritter der erste Universitätslehrer der nach Anerkennung ringenden Wissenschaft, aber noch bei seinen Lebzeiten fand das von Berlin gegebene Beispiel Nachahmung. Göttingen erhielt in J. E. Wappaeus (1812—1879), Wien in F. Simony (Abschnitt VI), treffliche Vertreter der Erdkunde, doch waren einstweilen noch die Arbeitsgewohnheiten der drei Männer so verschiedene, daß Fernerstehende der inneren Zusammengehörigkeit der nach drei scheinbar ganz selbständigen Richtungen gegliederten Disziplinen kaum bewußt werden konnten. Erst seit 1870 kam neues Leben in die akademische Geographie. Peschel übernahm den für ihn neu gegründeten Lehrstuhl in Leipzig, dessen Zierde er beklagenswerter Weise nur vier Jahre bilden sollte; H. Guthe (1825—1874) wurde an das Polytechnikum in München berufen, wo ihm freilich auch nur eine kurz dauernde Wirksamkeit vergönnt war; in Berlin trat H. Kiepert (1810—1899) das Erbe Ritters an. Und in dem Maße, wie es möglich war, die geeigneten Persönlichkeiten dafür zu gewinnen, folgten die anderen Hochschulen nach, so daß im Jahre 1900 nur noch zwei Universitäten deutscher Zunge — Rostock und Basel — einer selbständigen geographischen Professur entbehrten. Aber auch das Ausland blieb sehr bald schon nicht mehr hinter dem deutschen Vorbilde zurück; ja, einzelne Staaten schlugen sogar ein noch lebhafteres Tempo ein.

Bedachtsam, wie es seine Art ist, hielt sich Großbritannien anfänglich noch etwas zurück, trat aber dann um so entschiedener in die gleiche Bahn ein, und heute kann es mit Genugthuung ausgesprochen werden, daß die Rezeption der Geographie unter die akademischen Lehrgegenstände als eine vollendete Thatsache anzusehen ist.

Wie es die Umstände erheischten, konnte man bei der Auswahl der Lehrer nicht ängstlich nur auf solche bedacht sein, die eine im engeren Sinne geographische Fachbildung genossen hatten, weil ja eben eine solche zunächst nur ganz ausnahmsweise zu erlangen gewesen war. Geologen traten in den Vordergrund, aber auch Historiker und Philologen, Physiker, Mathematiker und Angehörige der beschreibenden Naturwissenschaft stellten sich in die Reihe, und es muß als ein deutliches Kennzeichen für die innere Assimilierungskraft der Geographie angesprochen werden, daß die aus den verschiedensten wissenschaftlichen Heerlagern hervorgegangenen Kollegen sich rasch als Einheit fühlen lernten und dies sowohl nach außen, als auch in ihrer litterarischen Arbeit bethätigten. Und bald stellte sich sogar heraus, daß in letzterer die naturwissenschaftliche Seite überwog, so daß sogar kleine Grenzstreitigkeiten mit Astronomie und Geologie nicht ausblieben, die vielleicht unter dem streng systematischen Gesichtspunkte ihr Mißliches haben, dabei aber doch wieder von der immanenten Expansivkraft der jüngeren Schwester kein unvorteilhaftes Zeugnis ablegen. Die innere Zusammengehörigkeit der Gesamtwissenschaft von der Erde mit dem großen Verbande der Naturwissenschaften überhaupt wird nicht mehr ernstlich bestritten, und für beide Teile kann dieser Annäherungsprozeß in letzter Instanz nur Vorteile bringen.

Darüber belehrt uns auch ein Blick in die Fachlitteratur, die in neuester Zeit so große Ausdehnung erlangt hat, daß selbst der Eingeweihte sich nur mühsam auf dem laufenden zu erhalten und von den zahllosen Bereicherungen Akt zu nehmen vermag, welche einerseits der Länderkunde, anderseits der allgemeinen Erdkunde zuströmen. Ungemein groß ist die Anzahl der einschlägigen periodischen Organe, indem zu den Journalen im engeren Sinne noch die Veröffentlichungen der über den ganzen Erdball ausgesäeten

geographischen Vereine hinzutreten. Manche unter diesen geben auch nicht bloß Jahresberichte oder zwanglose Hefte, sondern sogar monatliche Zeitschriften heraus; dahin gehören die „Royal Geographical Society“ in London und die „Gesellschaft für Erdkunde“ in Berlin, die auf eine stattliche Lebenszeit zurückblicken darf, da sie schon 1828 unter den Auspizien Humboldts und Ritters begründet worden ist. Deutschlands Eigentum ist übrigens dasjenige Organ, dem allseitig eine über die nationalen Grenzen weit hinausgehende, zentrale Bedeutung zuerkannt wird. Im Jahre 1852 schuf A. H. Petermann (1822—1878), damals schon als Kartenzeichner hoch geschätzt und als Leiter des groß angelegten geographischen Institutes von Justus Perthes (1749—1816) für ein solches Unternehmen, wie kein zweiter, geeignet, eine gleichmäßig für Förderung und Verbreitung der Wissenschaft bestimmte Zeitschrift, die noch jetzt jedem Fachmannne des In- und Auslandes gleich unentbehrlich ist. Petermanns „Geographische Monatshefte“ haben, seitdem 1885 G. A. Supan (geb. 1847) die Oberleitung übernommen hat, sogar noch eine wertvolle Ausgestaltung dadurch erfahren, daß neben Originalabhandlungen und fortlaufenden Mitteilungen über die neuesten Fortschritte der erobernden Geographie auch kritische Berichte über die stets weiter sich verzweigenden schriftstellerischen Leistungen aller Völker eingefügt wurden. Es braucht kaum bemerkt zu werden, daß völlige Abrundung dieser Referate auf verhältnismäßig kleinem Raume gar nicht angestrebt werden kann; wer nach Vollständigkeit trachtet, greift nach einem anderen Werk, welches seinen Wunsch nach Möglichkeit zu befriedigen bestimmt ist. Ein „Geographisches Jahrbuch“, ebenfalls bei Perthes herausgegeben, rief 1866 E. Behm (1830—1884) ins Leben, und einige Zeit später übernahm H. Wagner (geb. 1840), der bis dahin mit Behm zusammengearbeitet hatte, die Redaktion, stets bestrebt, alle Disziplinen, die irgend als wichtig für den Geographen gelten können, wenn sie auch nicht im engsten Sinne geographische sind, in den Gesamtbericht hereinzuziehen. Auf solche Weise ist ein fortlaufendes Generalrepertorium der geographischen Wissenschaft entstanden, welches auch vom Naturforscher, mag er nun Astronom,

Geologe, Zoologe, Botaniker oder Physiker sein, mit dem größten Nutzen zu Rate gezogen wird. Eine Reihe anderer Werke von ähnlicher, nur minder weit ausgreifender Tendenz, aus denen wiederum der Geograph reiche Belehrung schöpfen kann, hat schon wiederholt in früheren Abschnitten Erwähnung gefunden, wie z. B. H. J. Kleins „Jahrbuch für Astronomie und Geophysik“, sowie die „Fortschritte der Physik“, deren dritte Abteilung ausschließlich solchen Dingen gewidmet ist, die für den Geographen und für den Physiker gleiches Interesse besitzen.

Das reißend schnell erfolgte Wachstum der Geographie, welches wir vorstehend mittelst einiger markanter Züge übersichtlich zu schildern suchten, hat verschiedene Ursachen gehabt, und nicht die unwichtigste unter diesen war die für das 19. Jahrhundert charakteristische Erweiterung des geographischen Horizontes, mit welcher sich für viele Völker, auch für solche, die bis dahin solche Neigungen nicht an den Tag gelegt hatten, die Erwerbung überseeischer Besitzungen verknüpfte. Seit den großen Jahren der portugiesisch-spanischen Conquista war kein analoger Fortschritt mehr zu verzeichnen gewesen; Afrika, Asien, Amerika sind den modernen Geographen heute ziemlich ebenso genau bekannt, wie es ihren Genossen vor hundert Jahren die entlegeneren Teile Europas gewesen waren, und nur im inneren Australien und in den beiden Polarzonen harren noch weit ausgedehnte Territorien der Erschließung, so daß mithin dem anbrechenden Jahrhundert im großen und ganzen mehr die Pflicht genauerer Kenntnisnahme, als diejenige erster Erforschung zuzufallen scheint, eine Pflicht, zu deren Erfüllung zu allererst umfassendste Anleihen bei den verschiedensten Naturwissenschaften gemacht werden müssen. Allein auch die letzteren hinwiederum zogen und ziehen unmittelbarsten Nutzen aus den großen Forschungsreisen, und es kann im Einzelfache dem, der auf diesen hochwichtigen, wechselseitigen Befruchtungsprozeß zweier Wissensgebiete sein Augenmerk richtet, zweifelhaft vorkommen, wo gerade mehr gegeben oder mehr empfangen worden ist. Es kann ja keinem Zweifel unterliegen, daß in erster Reihe die biologischen Disziplinen ihren Nutzen aus dem Einblicke in eine fremde Welt gezogen haben, die sich mit jeder Expedition eröffnete, aber es kam

doch auch die Physik der Erde nicht zu kurz, wenn wir einmal dieses Wort in seinem weitesten Sinne nehmen, so daß es also auch die Geologie in sich begreift. Denken wir nur an die großartigen Resultate der Polarforschung. Vor hundert Jahren hatte die Geographie von demjenigen Teile der Erde, der jenseits des südlichen Polarkreises liegt, trotz der Fahrten Cooks noch so gut wie gar keine und von der arktischen Kalotte nur eine höchst dürftige Kenntnis, und auch im 19. Jahrhundert ging es zuerst nur langsam vorwärts. Eine wirklich staunenswerte Thätigkeit entfaltete in den hochnordischen Meeren W. Scoresby (1789—1857), der schon 1806 mit der „Resolution" den damals nördlichsten Punkt (81° 30′ n. Br.) erreichte und später (1823) in seinem großen Werke über den Walfischfang einen ungeheuren, noch lange nicht gehobenen Schatz von Erfahrungen niederlegte, die sich hauptsächlich, soweit nicht das engere Thema, das der Titel andeutet, in Betracht kommt, auf Hydrographie und Meteorologie beziehen. Einiges von dem, was seit Scoresby zum eisernen Bestande der Ozeanographie gehört, wurde bereits in Abschnitt VI vorübergehend mitgeteilt. Das Meer zwischen Ostgrönland und der Inselgruppe Spitzbergen war einstweilen das belebteste; hier stellte 1823 General E. Sabine, den wir schon kennen, und der sich damals dem Kapitän Clavering angeschlossen hatte, seine berühmten magnetischen Messungen und Pendelbeobachtungen an; hier war (1829—1831) der Schauplatz der Entdeckungen des Dänen W. A. Graah; hier wagte 1827 W. E. Parry (1790—1855) seinen kühnen Vorstoß mit Schlitten und Booten, der bis zu 82° 45′ führte und nur deshalb nicht fortgeführt werden konnte, weil sich zeigte, daß man auf eine große, nach Süden treibende Scholle geraten war. Zu Beginn der zwanziger Jahre erforschten auch die Russen auf fünf Schiffen, die Graf F. B. Lütke (1797—1882) befehligte, die seit Barentz' Zeiten fast in Vergessenheit geratenen Meere um Novaja Semlja, und im äußersten Osten von Sibirien wurden seit 1805 von Siratowskoj, Hedenström, Anjou und ganz besonders von F. v. Wrangell (1795—1870) wichtige Bereicherungen der Karte erzielt; ihnen folgte A. Th. v. Middendorff (1815 bis 1894), dessen Opfermut man die erste genauere Kenntnis von einer

bis dahin ganz unbekannt gewesenen Bodenform, der gefrorenen Tundra Nordsibiriens zu danken hat. Ein noch höheres Interesse begann sich aber gegen das Ende des zweiten Dezenniums auf die ein wirres Durcheinander von Festland, Eis und offenem Wasser darstellenden Archipele der sogenannten nordwestlichen Durchfahrt zu konzentrieren, die man, nachdem das mühevolle Ringen eines Frobisher, Davis, Hudson, Baffin u. a. zweihundert Jahre früher zu keinem praktisch verwertbaren Ergebnisse geführt, nautischerseits so gut wie ganz unbeachtet gelassen hatte. Seit 1818 folgten John Roß (1777—1856) u. a. dem von jenen Heroen gegebenen Beispiele, und dem ersteren ward (Abschnitt VI) 1829 das Glück zu teil, den magnetischen Nordpol der Erde, d. h. denjenigen Punkt aufzufinden, in welchem die Neigungsnadel sich genau senkrecht zur Horizontalebene einstellt. Vom nordamerikanischen Binnenlande aus organisierte der unternehmende, zu trauriger Berühmtheit gelangte John Franklin (1786—1847?) die Forschungsarbeit, unterstützt von Beechey, J. Richardson, Back, Kendall und anderen tapferen Begleitern, die zum Teile, wie ihr Führer, der Unwirtlichkeit der Eiswelt erlagen. Franklin nämlich, der für seine Leistungen bereits die höchsten Anerkennungen erhalten hatte, segelte im Jahre 1845 zu einer neuen, wesentlich der Erkundung der geomagnetischen Verhältnisse gewidmeten Fahrt aus, von welcher keiner der Teilnehmer zurückkehren sollte. Man glaubte annehmen zu sollen, daß das Unglück die beiden Expeditionsschiffe „Erebus“ und „Terror“ im höchsten Norden betroffen haben müsse, allein im Jahre 1859 wurde mit vollster Sicherheit festgestellt, daß das Unglück sich unter verhältnismäßig niedriger Breite, nämlich in King Williams-Land, ereignete, und daß dort innerhalb der beiden Jahre 1846—1848 die gesamte Mannschaft der Kälte und dem Hunger erlegen war.

So entsetzlich dieses Schicksal der Unglücklichen auch erscheint, so wenig ist in Abrede zu stellen, daß die Geographie der arktischen Länder aus der Ungewißheit, in welcher man über ein Jahrzehnt geschwebt hatte, sehr erhebliche Vorteile zog, denn eine ganze Anzahl von Expeditionen ist nur zu dem Zwecke in Szene gesetzt worden, um die Kulturwelt von dem stillen Vorwurfe, der in der

Ungewißheit von Franklins Ausgang lag, zu befreien, und wenn auch die meisten derselben hierzu nicht oder doch nur indirekt beitragen konnten, so wurden doch von ihnen um so zahlreichere andere Probleme gelöst. Ganz besonders verdient machten sich F. L. Mac Clintock (geb. 1819), der, einer von Rae und Collinson gefundenen Spur folgend, 1859 den endgiltigen Nachweis von der Vernichtung der Franklinschen Reisegesellschaft erbrachte, und R. J. Mac Clure (1807—1873), dem es mit einigen anderen Genossen gelang, in drei furchtbar schweren Jahren (1850—1853) von der Berings-Straße aus den Atlantischen Ozean zu erreichen. Er errang sich, von anderen Ehren ganz abgesehen, den für die seit drei Jahrhunderten vergeblich angestrebte Forcierung der Nordwestpassage ausgesetzten Preis von 10000 Pfund Sterling, indem er freilich die für den Welthandel betrübende Nachricht hinzuzufügen gezwungen war, daß irgend welche Ausnützung dieses Weges sich für alle Zeiten von selbst verbiete. Belcher, Kellett, E. A. Inglefield (geb. 1820) und manch anderer erfahrener Seemann haben diese von Eis starrenden Kanäle besucht und die Thatsache konstatiert, daß dort, wo in einem Jahre eine fast freie See sich ausbreitete, im nächsten Jahre wirre Packeismassen die Fortbewegung des Schiffes verhindern. Dann trat eine längere Pause ein, und erst mit den siebziger Jahren belebte sich aufs neue die Entdeckerthätigkeit im Bereiche der nordwestlichen Durchfahrt. A. H. Markham, Allen Young, vor allen aber G. Nares (geb. 1831) haben ihr Glück versucht, und es ist insbesondere gelungen, das Westgestade des aus dem Atlantischen Ozean längs Grönland hinaufführenden Wasserweges genau kennen zu lernen, Grinnell-Land, welches nach dem ersten Präsidenten der Amerikanischen Geographischen Gesellschaft, H. Grinnell (1799—1874), seinen Namen empfangen hat.

Dieser Mann ist es gewesen, der die Polarexpeditionen seitens der Vereinigten Staaten in Fluß gebracht hat. Ohne Grinnells stete und freigebige Geldhilfe wären diese Fahrten, die zugleich die Erreichung einer möglichst hohen Polhöhe ins Auge gefaßt hatten, sicher nicht thunlich gewesen. So aber drangen De Haven 1850, E. K. Kane (1820—1857) 1853 und

J. J. Hayes (geb. 1832) 1860 durch die Davis-Straße in den Smith-Sund und aus diesem in den Kennedy-Kanal vor, indem sie die insulare Natur Grönlands überaus wahrscheinlich machten und auch unter hohen Breiten noch offenes Wasser nachwiesen. Zehn Jahre später war Ch. F. Hall (1821—1871), der sich durch mehrmaligen Winteraufenthalt in den Hudsonsbayländern ganz an die Lebensweise der Eskimos gewöhnt hatte, so glücklich, auf derselben Route 82° 26′ n. Br. zu erreichen; er selbst bezahlte den Erfolg freilich mit dem Tode, und seine Gefährten mußten, nachdem ihr Fahrzeug „Polaris" im Eise erdrückt worden war, in gefährlichster Schollen- und Schaluppenfahrt das nackte Leben retten, aber trotzdem hatte der unter ihnen befindliche Naturforscher E. Bessels (1847—1895) wertvolle Einblicke in die Physik der Polarwelt thun können.

Im Jahre 1869 war auch Deutschland als eines der die Polarforschung betreibenden Länder in Reih und Glied getreten. Der unermüdliche Agitator, der es soweit brachte, war A. Petermann, der zugleich für die von ihm enthusiastisch verfochtene Doktrin von der Existenz eines freien Nordpolarmeeres Stimmung machte. Dieselbe, vielseitig gebilligt, fand u. a. Unterstützung von seiten des italienischen Mathematikers G. A. Plana (1781—1864) und schien durch die Rückkehr der Hayesschen Expedition gesichert zu sein, hat sich aber weder durch wissenschaftliche Argumente noch durch die Erfahrung retten lassen. Jedenfalls aber belebte sie vorerst die Hoffnungen, und die beiden Schiffe, welche 1869 K. Koldewey (geb. 1837) und sein Kollege P. F. A. Hegemann (geb. 1836) an die Ostküste von Grönland führten, gingen unter anscheinend sehr günstigen Auspizien in die See, vermochten aber nicht die erwartete hohe Breite zu gewinnen. Dagegen vervollständigte sich die Kenntnis Spitzbergens, der Bären-Insel und der noch weiter östlich gelegenen Archipele; B. M. Keilhau (Abschnitt X), J. Lamont, N. A. E. v. Nordenskiöld (geb. 1832) und O. Torell (1828—1900), sowie der deutsche Zoologe M. Th. v. Heuglin (1824—1876) sind da besonders namhaft zu machen. Seit 1870 begann dann auch der Schleier von dem fast ängstlich gemiedenen Karischen Meere zu fallen, welches der

sonst mit Recht seines Scharfblickes wegen verehrte deutsch-russische Naturforscher K. E. v. Baer (1792—1876) irrig als den Eiskeller Europas verdächtigt hatte, und nachdem mehrere Fangschiffe das Becken anstandslos zu durchkreuzen so glücklich gewesen waren, umfuhr zuerst Kapitän E. H. Johansen die ganze Doppelinsel Nowaja Semlja. Das zwischen ihr und Spitzbergen gelegene Meer wurde 1869 von Bessels, 1871 von J. Payer (geb. 1842) und K. Weyprecht (1838—1881), 1872 vom Grafen J. N. Wilczek (geb. 1836), der mit dem Geologen H. Hoefer (geb. 1843) reiste, durchforscht, und ein Jahr später fanden Payer und Weyprecht das Franz Joseph-Land auf, wo sie ihr Schiff einbüßten, so daß nur eine mühselige Eiswanderung Menschen und Tagebücher, letztere voll des wertvollsten wissenschaftlichen Stoffes, zu retten vermochte. Die Strecke zwischen Ob- und Jenissej-Mündung hatte sich inzwischen auch als eine verhältnismäßig praktikable erwiesen, und darauf bauend entwarf v. Nordenskiöld, der sich der materiellen Unterstützung seiner Mäcene O. Dickson und A. Sibiriakow versichert halten durfte, den Plan einer Erzwingung der nordöstlichen Durchfahrt. Derselbe ward 1878 und 1879 glücklich verwirklicht, und zwar stellt diese Expedition, da die Gefahr des Einfrierens hier keine gleich große ist, dem Welthandel durchaus nicht ein so völlig hoffnungsloses Prognostikon, wie dies hinsichtlich der Umseglung Nordamerikas der Fall gewesen war. In neuerer Zeit haben F. Nansen, dessen wir noch zu gedenken haben, und Baron E. Toll die Kenntnis der nördlich von Sibirien sich hinziehenden Meere und der ihnen angehörigen Archipele besonders gefördert, während leider die Fahrt der „Jeanette" nahe der Lena-Mündung ein so trauriges Ende fand, daß nur wenige Überlebende den näheren Hergang erzählen konnten. Franz-Joseph- und Gillis-Land, zwei für besonders schwer erreichbar geltende Inselkomplexe, sind von B. L. Smith, Nansen u. a. gleichfalls wieder aufgefunden und teilweise untersucht worden.

Zeitweise mochte es den Anschein gewinnen, als solle dem Streben, das Banner der Forschung auf einem dem Pole nächst benachbarten Punkte aufzupflanzen, als einem ziemlich aussichtslosen Halt geboten werden. Das war damals, als Weyprecht,

von seiner zweiten Eisfahrt glücklich zurückgekehrt, auf der Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte zu Graz (1875) den Gedanken entwickelte, von den kostspieligen Vorstößen gegen den Nordpol abzusehen und dafür die Polarzone mit einem Gürtel wissenschaftlicher Stationen zu umziehen, deren Beobachtungen, plangemäß durchgeführt, uns über viele Fragen, die die bisherige hastende Durchjagung weiter Erdräume habe ungeklärt lassen müssen, Aufschluß zu liefern geeignet sei. Die Anregung des erfahrenen Forschers fand eine beifällige Aufnahme; mehrere internationale Polarkonferenzen — besonders 1881 in St. Petersburg — haben die Einzelheiten für eine solche wissenschaftliche Belagerung der Polarfeste normiert, und nachdem sich die einzelnen Staaten über die ihnen zufallenden Örtlichkeiten verständigt hatten, wurden die Beobachtungsplätze — von Deutschland im Kingua-Fjord, von Österreich-Ungarn auf Jan Mayen u. s. w. — eingerichtet, und der Gewinn aus dieser geistigen Hinterlassenschaft des frühzeitig weggerafften Weyprecht ist ein sehr beträchtlicher gewesen. Immerhin rastete aber auch der alte Drang nach dem höchsten Norden nicht, und in allerneuester Zeit ist man, wie alle Welt weiß, dem Ziele wieder einen guten Schritt näher gekommen durch die Großthat des Norwegers Fritjof Nansen (geb. 1861), der, einer von ihm theoretisch erschlossenen Driftströmung von Ost nach West folgend, das Nördliche Eismeer auf ganz neuem, viel weiter polwärts gelegenem Wege durchschnitt (1893—1896) und, indem er sein wackeres Expeditionsschiff „Fram“ zuletzt verließ, zusammen mit F. J. Johansen (geb. 1867) denjenigen Punkt erreichte, der sich dem Pole am nächsten befand (unter 86° 15′ n. Br.) Im Sommer 1900 wurde allerdings dieser „Record“ wieder durch den Italiener U. Cagni überholt, der den Herzog der Abruzzen auf seiner Entdeckungsfahrt begleitete und noch einige dreißig Kilometer nördlicher als Nansen mit wenigen Begleitern vorgedrungen zu sein scheint. Hingegen mußte, wie schon Abschnitt XV ausführte, das allzu vermessene Unternehmen des schwedischen Ingenieurs Andrée, mittelst Luftballons den Nordpol zu überfliegen, notwendig scheitern. Es ist ja, angesichts der oben gekennzeichneten Fortschritte der aëronautischen

Technik, nicht ausgeschlossen, daß der angedeutete Weg durch die Luft noch einmal als der zum Ziele führende erkannt wird, allein zur Zeit war dieses Beginnen noch verfrüht, und die von der Mehrzahl der Sachverständigen an Andrée gerichteten Warnungen haben eine traurige Bestätigung gefunden.

Eine nahezu vollständige Lösung hat mittlerweile auch das tausendjährige grönländische Problem erfahren. Dasselbe ist offenbar ein zweigeteiltes: Hängt Grönland irgendwie mit einer anderen Kontinentalmasse zusammen, und wie ist sein Inneres beschaffen? Der von Kane eingeschlagene Weg durch den Smith-Sund und Kennedy-Kanal ist von den Amerikanern ausdauernd verfolgt worden, und zwei Marineoffiziere der Union, A. W. Greely (geb. 1844) und R. Peary, haben durch ihre — teilweise überaus gefahr- und opferreichen — Züge die Inselnatur Grönlands außer Zweifel gestellt. Daß diese Insel eine ungeheure Eismasse, den Riesengletscher („Sermiksoak") der Eingeborenen darstelle, war schon durch die wenig über den Küstenbezirk hinausgreifenden Begehungen der dänischen Forscher K. J. V. Steenstrup (geb. 1842), J. A. D. Jensen (geb. 1849), A. N. Kornerup (1857—1881) und durch die Erkundigungen H. F. Rinks (1819—1893), des genauesten Kenners der Insel, wahrscheinlich gemacht worden, aber es blieben gleichwohl noch Zweifel bestehen, und um diese zu heben, unternahm es v. Nordenskiöld 1882, mit einer wohl ausgerüsteten Reisegesellschaft die Eiswüsten des Inneren systematisch zu durchforschen. Zwei Lappländer drangen bis ungefähr zur Achse der Insel vor, und ihre Meldungen ließen ersehen, daß, soweit ihre Augen gereicht hatten, die Behauptung der Eskimos gerechtfertigt war. Die vollständige Durchquerung gelang F. Nansen, der 1888 mit Schlitten von der Ostküste ausging und nach Erduldung der größten Mühsale glücklich die Westküste in der Nähe von Godthaab erreichte. Durch v. Nordenskiöld und Nansen ist die Geographie mit einer fundamentalen Erkenntnis bereichert worden: Es giebt auch in der Gegenwart noch ausgedehnte Landmassen, die sich im Zustande vollkommener Vereisung befinden und eisfreier Zwischengebiete gänzlich entbehren.

In der arktischen Region darf sich, wie unsere Übersicht ergab, der Mensch, soweit er auch noch vom Endziele selbst entfernt geblieben ist, schöner Erfolge rühmen; minder zufriedenstellend ist der Erfolg der bisherigen Bemühungen um die Erforschung der Umgebung des Gegenpoles der Erde. K. Frickers Buch „Antarktis" (Berlin 1898) zieht die Summe dessen, was man beim Schlusse des 19. Jahrhunderts thatsächlich wußte; wie viel noch zu thun übrig bleibt, zeigt uns Supans Berechnung, welcher zufolge der bislang noch von keinem Menschen betretene Flächenraum der Südpolarzone demjenigen Europas an Größe kaum nachsteht. Cooks Spuren war in größerem Maßstabe zuerst wieder in den Jahren 1819 bis 1821 der russische Seemann F. v. Bellingshausen (1778—1852) nachgegangen, der im ganzen 260 Längengrade zurücklegte und einige neue Inseln entdeckte. Die bisherige höchste Südbreite von 74° 15′ war 1823 diejenige, welche der Robbenschläger J. Weddell südlich von den Süd-Orkaden bestimmte. Biscoe entdeckte 1830 Enderby- und Grahams-Land, 1834 Kemp das Kemp-Land, 1839 Balleny Clarie- und Sabrinaland, 1840 Wilkes den seinen Namen tragenden Archipel, und beinahe gleichzeitig ward James Roß (1800—1862), des gleichfalls berühmten John noch thatkräftigerer Neffe, des Glückes teilhaftig, die beiden Vulkane Erebus und Terror, aktive Feuerberge von sehr bedeutender Höhe, aus der Ferne sehen und so die wichtige Thatsache konstatieren zu dürfen, daß das vulkanische Phänomen die ganze Erde umfaßt. Roß erreichte den Parallel von 78° 9′. Dann traten, obwohl Nares, Dallmann, Bove den südlichen Polarkreis überschritten, längere Pausen ein, und erst in der allerjüngsten Zeit ist durch Borchgrewingk und De Gerlache, der in die Nähe des südlichen Magnetpoles gelangt zu sein scheint, wieder ein tüchtiger Ruck nach vorwärts gemacht worden. Was bis jetzt der Physiker der De Gerlacheschen Expedition, H. Arctowski in Lüttich, über deren Ergebnisse bekannt gegeben, läßt besonders in geophysikalischer Hinsicht großen Hoffnungen Raum geben. Die ersten Jahre des 20. Jahrhunderts werden, wie man jetzt mit vollster Zuversicht hoffen darf, durch eine vom Deutschen Reiche unterstützte Expedition ausgezeichnet sein, die sich auf die

Kerguelen-Inseln zu basieren und von da aus die Erreichung einer möglichst hohen südlichen Breite anzustreben hat. Als Führer ist der Berliner Geograph E. v. Drygalski ausersehen, der sich in den neunziger Jahren mehrere Winter an der Westküste Grönlands aufgehalten, die Lebensverhältnisse im Polarklima durch eigene Erfahrung kennen gelernt und durch ein großes Werk über das Binneneis und dessen verwickelte Bewegungsformen seine Befähigung für aktive Polarforschung dargethan hat.

Eine gedrängte Überschau über die doch gewiß gewaltigen Fortschritte, welche die Erkundung der Polargebiete durch die Arbeit eines Jahrhunderts gemacht hat, durfte an dieser Stelle nicht fehlen, weil dadurch die eigentliche Geographie kaum mehr als die Gesamtheit der Naturwissenschaften gefördert worden ist. Niemand wird von einer Reise, die in eine an fremden Menschen, Tieren und Pflanzen reiche Gegend führt, ein Gleiches verlangen wollen, weil ja hier das Interesse sich in den mannigfaltigsten Richtungen zersplittern muß, allein mit ein paar Beispielen wollen wir doch auch auf den vielfältigen Nutzen hinweisen, welchen die Lehre vom Vulkanismus und überhaupt die gesamte dynamische Geologie aus Forschungsreisen geschöpft haben. Von A. v. Humboldt und L. v. Buch ist bereits genugsam die Rede gewesen. F. W. Junghuhn (1812—1864) machte uns mit den Vulkanen des Hinterindischen Archipels, K. v. Seebach (1839—1800) machte uns mit denjenigen Zentralamerikas bekannt, und auf demselben Gebiete haben in früherer Zeit A. Dollfus-Montserrat (1840 bis 1869), Montessus de Ballore und vor allem M. Wagner (1813—1887), in neuerer Pennesi und K. Sapper gearbeitet, welch' letzterem die physische Erdkunde für die Durchforschung der großen amerikanischen Landbrücke zu besonderem Danke verpflichtet ist. Südamerikas thätige und erloschene Feuerberge sind mehrfach das Forschungsobjekt von P. Güßfeldt (geb. 1840), W. Reiß (geb. 1838) und A. Stübel (geb. 1838) gewesen; Stübel entnahm ihnen das Material zu einer 1897 publizierten, auch theoretisch interessanten Monographie, die eine Reihe neuer Gesichtspunkte bietet. Auf ein anderes Feld werden wir gelenkt, wenn wir gewisser Expeditionen in die Wüsten- und Steppenterritorien

Innerasiens und Australiens Erwähnung thun. Hochasien und die westlich angrenzenden Länder sind aus nahe liegendem Grunde stets die Domäne der auch für Kaukasien und Armenien besonders besorgten Russen gewesen; aus früherer Zeit J. F. W. Parrot (1792—1840) und W. H. Abich (Abschnitt X), aus späterer N. A. Ssjewerzow (gest. 1885), N. Iwaschinzow (geb. 1819), P. v. Ssemenow (geb. 1827), der in Böhmen geborene Geologe F. Stoliczka (geb. 1838) und, an hervorragendster Stelle, N. v. Prshewalskij (1839—1888) zu nennen, der sich den erfolgreichsten Forschungsreisenden aller Zeiten würdig anreiht. Mit ihm wetteiferte in den letzten Jahren der Schwede Sven Hedin (geb. 1866), der Prshewalskijs Lebenswerk wieder aufnahm und sich durch seine Entdeckungen im Pamir, sowie im Gebiete des Lop-Noor den erfolgreichsten Forschungsreisenden aller Zeiten als ein mindestens gleichwertiger Genosse zur Seite gestellt, wo nicht alle seine Vorgänger übertroffen hat. Die „Beiträge zur Geologie von Australien“, welche L. F. W. Leichhardt (1813—?) hinterlassen hatte, wurden 1855 herausgegeben und gaben zuerst einen Begriff von der Wüstennatur Neuhollands; ihr Verfasser ist seit dem 3. April 1848 verschollen, und trotz allen Anstrengungen, die es sich V. Georg Neumayer (Abschnitt XIII) kosten ließ, um Licht in das dunkle Schicksal seines Landsmannes zu bringen, blieben die näheren Umstände ungewiß. Um endlich auch noch an einem dritten Belege die rein naturwissenschaftliche Bedeutung geographischer Aufklärungsarbeit zu erläutern, weisen wir noch hin auf die ostafrikanischen Gletscherfahrten Hans Meyers (geb. 1858). Als die verdienten Missionare J. L. Krapf (1810—1881) und J. Rebmann (1820—1876) um 1850 von dem Vorhandensein hoher Schneeberge unter dem Äquator zu berichten begannen, brachte ihnen die gelehrte Welt unverhülltes Mißtrauen entgegen, weil ihre angebliche Autopsie mit physikalischen Thatsachen in Widerspruch stehe, und nunmehr, nachdem (1897) H. Meyer den Kilimandjaro und (1899) Mackinder den Kenia erklommen hat, ist uns das Wesen der Gletscherbildung in manchen Punkten noch klarer geworden, als es bei ausschließlicher Berücksichtigung der Vorkommnisse höherer Breiten möglich gewesen wäre. Die Meereskunde

endlich, deren noch schüchterne Anfänge wir dereinst zu würdigen hatten, ist ein Achtung gebietender, inhaltreicher Wissenszweig geworden, seitdem in die zur Erforschung des Weltmeeres dienenden Seefahrten, die wir später im Zusammenhange betrachten wollen, durch internationale Übereinkunft System und Ordnung gebracht worden ist.

So steht auch nach ihrer explorativen Seite hin die Erdkunde zur Gesamtheit der uns hier beschäftigenden Naturwissenschaften in engster Wechselbeziehung. Durchmustert man für beide die geschichtliche Entwicklung, so kann man auf Schritt und Tritt Bestätigungen erblicken. Die Geographie hat in neuester Zeit vielfach liebevolle historische Bearbeitung gefunden, und es haben sich insbesondere v. Nordenskiöld, F. v. Wieser und S. Ruge (geb. 1834) nachhaltig mit diesem Teile der Wissenschaft beschäftigt. Die historisch-kartographischen Sammelwerke v. Nordenskiölds, der „Faksimile-Atlas" (1891) und der „Periplus" (1897) sind Denkmäler von außerordentlichem und ganz eigenartigem Werte.

Zweiundzwanzigstes Kapitel.

Die Geologie der neuesten Zeit.

Von den drei Teilen, in welche die Geologie, dem Gesetze ihrer inneren Entwicklung gemäß, zerlegt zu werden pflegt, ist der eine, die Petrographie, bereits in Abschnitt XX vorausgenommen worden, weil seine Verwandtschaft mit der Mineralogie sich als eine zu enge gestaltet hat, um eine Trennung von dieser zuzulassen. Sodann kann in einem Werke, wie dem vorliegenden, den rapiden neueren Fortschritten der Paläontologie, die mit der Geologie eigentlich nur noch durch historische Reminiscenzen zusammengehalten wird, nicht mehr nach Gebühr nachgegangen werden. Wir werden uns ihr gegenüber, die ja nur ihrer ursprünglichen Bestimmung nach zu den anorganischen, ihrem inneren Wesen nach aber zu den organischen Naturwissenschaften gehört, mit einem sehr summarischen Überblicke bescheiden müssen. So verbleiben denn für diesen Abschnitt hauptsächlich nur die Stratigraphie, welche für jeden Ort die Aufeinanderfolge der Schichten festzustellen hat, und die dynamische Geologie, welche man, wie sich der Sprachgebrauch gegenwärtig gestaltet hat, der Morphologie der Erdoberfläche inhaltlich gleichzusetzen berechtigt ist.

Die Paläontologie wird angesichts des Entwicklungsganges, den die Biologie seit Lamarck (1744—1829) und Ch. Darwin genommen hat, souverän durch den Entwicklungsgedanken beherrscht. Bis 1860 war es umgekehrt; damals stand, wie K. A. v. Zittel (geb. 1839) in seiner „Geschichte der Geologie und Paläontologie

bis Ende des 19. Jahrhunderts" (München-Leipzig 1899) betont, die Versteinerungskunde noch ganz unter der von Cuvier gelehrten, später namentlich von L. Agassiz verteidigten Lehre von der Unveränderlichkeit der Arten. Allerdings wurde letztere von verschiedenen Paläontologen, die uns aus Abschnitt X bekannt sind, wie von Bronn und Quenstedt, keineswegs rigoros aufgefaßt, aber der Wunsch, möglichst scharf Gattungen und Arten bestimmen zu können, stand doch immer im Vordergrunde. Der sogenannte Schöpfungsplan, durch den von Anbeginn an eine Beziehung zwischen absterbenden und dafür in die Lücke tretenden neuen Formen bedingt sein sollte, fand unter den deutschen Fachmännern entschiedene Vertreter; Bronn und Giebel sprachen sich nachdrücklich in diesem Sinne aus. In England teilten Sedgwick und H. Miller diesen Standpunkt, und E. Forbes (1815—1854) machte noch in seinem Todesjahre aufmerksam auf gewisse Rückbildungen, deren Auftreten als ein Beweis dafür hingenommen ward, daß nicht durchweg ein progressiver Trieb die Entstehung neuer Lebewesen regle. Immerhin war, und zwar gerade durch Bronns von der französischen Akademie gekrönte Preisschrift („Untersuchungen über die Entwicklungsgesetze der organischen Welt während der Bildungszeit unserer Erdoberfläche", Stuttgart 1858), der Boden für die Aufnahme der Deszendenztheorie vorbereitet worden, und Bronn war es auch, der von dem fundamentalen Werke Darwins („On the Origin of Species by Means of Natural Selection", London 1860) die erste deutsche Ausgabe veranstaltete. Dieser Auffassung, die ja wohl auch hier und da so stürmisch und radikal hervortrat, daß die strenge Wissenschaft solche rein gedanklich erhaltene und durch die Erfahrung nicht mehr gestützte Konsequenzen abzulehnen genötigt war, haben alle neueren Forscher gehuldigt, und die Anzahl derer, welche noch mit den alten Definitionen auszureichen glauben, ist jedenfalls nur noch eine sehr beschränkte. Die Paläontologie ist in der glücklichen Lage, über ein Werk zu verfügen, welches den Gesamtinhalt des modernen Wissens, und zwar eben in einer den biogenetischen Anforderungen angepaßten Darstellung, übersichtlich vorführt. Es ist dies v. Zittels „Handbuch der Paläontologie" (München-Leipzig 1876

bis 1893). Die räumlich natürlich stark überwiegende Zoopaläontologie ist fast ganz aus des Herausgebers eigener Feder hervorgegangen, indem nur S. Scudder für die Bearbeitung der fossilen Insekten beigezogen wurde; der phytopaläontologische Teil war in die Hände von Ph. W. Schimper (1808—1880) und, nach dessen Hintritt, von A. Schenk (1815—1891) gelegt. Im Interesse der Lernenden wurde diesem umfassenden, zunächst nur dem eigentlichen Forscher als steter Ratgeber dienenden Werke ein kürzeres Lehrbuch (München-Leipzig 1895) nachgesandt. Daß auf dem Handbuche alle diejenigen Kompendien fußen, welche den naturhistorischen Gesichtspunkt hervorkehren, liegt in der Natur der Sache; hierher gehören die Schriften von R. Hoernes (1884), G. Steinmann (geb. 1856) und L. Doederlein (1890) und F. Bernard (Paris 1895). Ihre vollkommene Berechtigung für Diejenigen, denen sowohl das deskriptive, wie auch das entwicklungsgeschichtliche Interesse mangelt, die sich aber speziell in der Schichtenkunde auszubilden beabsichtigen, haben natürlich auch solche Lehrbücher, welche sich nur mit den Leitfossilien beschäftigen; solche besitzt unsere Litteratur von H. Haas (geb. 1845) (1887 und 1893) und von F. H. E. Kayser (geb. 1859) (1892).

Die neuere Lehre von den versteinerten Tieren faßt diese nach zehn sogenannten Formenkreisen zusammen, die eben von der Zoologie als solcher ebenfalls anerkannt sind, wie denn überhaupt daran festzuhalten ist, daß ausgestorbene und lebende Organismen völlig den gleichen Normen untergeordnet werden müssen. Es sind die Kreise der Protozoen oder Protisten (Urtiere), Spongien (Schwämme), Coelenteraten (Hohltiere), Echinodermen (Seesterne, Seewalzen, Seelilien und Seeigel), Bryozoen (Mooskorallen), Würmer, Brachiopoden (Armfüßler), Mollusken (Muscheln, Schnecken, Kopffüßler), Arthropoden (Gliedertiere, mit der wichtigen Unterabteilung der Krustazeen oder Krebstiere), Insekten und Wirbeltiere oder Vertebrata (die wieder in Fische, Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugetiere zerfallen). Die genealogischen Verhältnisse hat namentlich M. Neumayr (1845—1890) durch seine „Stämme des Tierreiches" (1889) aufzuklären gesucht, und speziell den Wirbeltieren ist v. Zittel in



Karl Alfred v. Zittel

Originalaufnahme von Franz Hanfstaengl

diesem Sinne näher getreten, nachdem R. Owen (1804—1892) durch seine Betrachtung der Zähne als eines bestimmenden Faktors die Systematik auf eine neue Bahn gebracht hatte. An das Gebiß, wie auch nicht minder an das ganze innere Skelett, knüpft auch die Kinetogenese von E. D. Cope (1840—1897) an, dessen Absicht zunächst darauf gerichtet ist, den Einfluß der umgebenden Umstände — Klima, Lebensweise u. s. w. — auf die Gestaltung des tierischen Körpers zu erkennen. In anderer Weise hat der große englische Philosoph Herbert Spencer (geb. 1820) diesen sekundären Einwirkungen eine erhöhte Beachtung zu vindizieren gesucht und ist dadurch teilweise auf dieselben Erwägungen geführt worden, denen bereits früher (1868) M. Wagner in seiner Migrationstheorie einen beredten Ausdruck verliehen hatte. Wer die hier kurz skizzierte Richtung der Paläontologie im Auge behält, wird das Interesse begreiflich finden, das solche Tierformen, die man als Kollektivtypen bezeichnet, und in denen sich Züge verschiedener Familien, Ordnungen, Klassen zusammenfinden, hervorrufen. Unter ihnen erregte jedenfalls das größte Aufsehen der viel berufene Archäopteryx (Urvogel), von dem bisher nur zwei Exemplare, und zwar beide Male im Lithographenschiefer von Solnhofen (Mittelfranken) aufgefunden worden sind, nämlich 1860 und 1877 durch den im Aufsuchen seltener Versteinerungen überaus geschickten Steinbruchbeamten Heberlein. Zuerst glaubte A. Wagner (1797 bis 1861) ein mit Federn versehenes Reptil vor sich zu haben, aber eine noch tiefer gehende Untersuchung von Owen (1863) machte die Vogelnatur des seltsamen Geschöpfes höchst wahrscheinlich, und als W. Dames (1843—1899) das zweite, nach Berlin gekommene Exemplar in ähnlicher Weise allseitig prüfte (1884), wurde diese Thatsache über allen Zweifel erhoben.

Die Versteinerungskunde der Pflanzen hat in der uns hier beschäftigenden Jahrhunderthälfte, neben dem Österreicher K. v. Ettingshausen (1826—1879) und dem britischen Liasforscher W. C. Williamson, ihre beiden bedeutendsten Repräsentanten in Schimper und Schenk gehabt. Letzterer war auch unter seinen engeren Fachgenossen der entschiedenste Deszendenztheoretiker. Die Tertiärflora war das Arbeitsgebiet von A. Braun, A. Massalongo,

Marquis G. de Saporta (1823—1895) und in allererster Linie von O. Heer (Abschnitt X); ihm, der übrigens ein Anhänger der Lehre vom Schöpfungsplane war, verdankt man eine klassische „Flora Arctica“ (1869—1884), welche in paläogeographischer Hinsicht mustergiltig genannt werden muß. Zur Einführung in diesen Teil der Lehre von der Vorwelt verfügt die französische Litteratur über die Werke des Marquis de Saporta („Le monde des plantes avant l'apparition de l'homme“, Paris 1879; „L'évolution du règne végétale“, Paris 1881 und 1885, herausgegeben zusammen mit Marion), die deutsche über ein zunächst für die studierende Jugend bestimmtes Lehrbuch, welches Graf H. Solms-Laubach (geb. 1842) bearbeitet hat.

Obwohl, wie wir nun schon wiederholt zu bemerken hatten, die Paläontologie sich selbst genug ist und mit der eigentlichen Geologie vielfach nur noch durch die geschichtliche Überlieferung aus jener Zeit zusammenhängt, in welcher die Versteinerungen dem Geologen nur etwa so zur Altersbestimmung einer Schicht dienten, wie heute der Prähistoriker aus neu aufgefundenen menschlichen Artefakten das Zeitalter von deren Entstehung erschließt, so bleibt doch andererseits diese mehr sekundäre Thätigkeit der Petrefaktenkunde ein unentbehrlicher Bestandteil der Stratigraphie und historischen Geologie. Dem Sachkenner wird irgend ein Leitfossil vorgezeigt, und ohne den Fundort gesehen zu haben oder auch sonst nur irgendwie zu kennen, dem das Tier oder die Pflanze entstammt, weiß er nicht nur generell Formation und Etage, sondern sogar den geologischen Horizont anzugeben, wohin das betreffende organische Wesen gehört. Solchergestalt haben die Landesgeologen der verschiedenen Kulturstaaten jene Landesaufnahmen durchgeführt, deren Anfänge wir seiner Zeit besprochen haben, und auf deren großartigen Fortgang in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts wir jetzt noch einen kurzen Blick werfen wollen. Für H. Wagners „Geographisches Jahrbuch“ hat der österreichische Geologe F. Toula (geb. 1845) seit längerer Zeit einen Bericht über die Fortschritte unseres Wissens in der topographischen Geologie erstattet, mit dem W. G. K. v. Fritsch (geb. 1838) begonnen hatte.

In Preußen nahm die Landesdurchforschung im Jahre 1862 einen lebhafteren Aufschwung, und zwar übernahm Beyrich die Oberleitung, um sie durch mehr als dreißig Jahre beizubehalten. Seit 1873 war er zusammen mit W. Hauchecorne (gest. 1899) Direktor der — mit der Berliner Bergakademie vereinigten — preußischen Geologischen Landesanstalt; unter ihm haben die meisten derjenigen Geologen gearbeitet, welche sich nachmals einen Namen als selbständige Forscher gemacht haben. M. G. Berendt (geb. 1836), C. A. H. Laspeyres (geb. 1836), W. v. Branco (geb. 1844), Th. Ebert (geb. 1857), K. Lossen (1841—1893) und H. Kloos, um nur einige bekannte Namen zu nennen, gehören zu diesen Hilfsarbeitern. Eine durch die Feinheit ihrer Ausführung berühmt gewordene Karte des Nordwestens der Provinz Sachsen lieferte 1864 J. W. Ewald (1811—1891). Für Schlesien war neben Beyrich besonders J. Roth (1867) thätig, und G. Gürich gab 1890 eine vollständige Darstellung des Schichtenbaus dieser Provinz. Im norddeutschen Flachlande, wo seit 1870 L. Meyn (Abschnitt X) die schleswig-holsteinschen Lande, seit 1881 K. A. Jentzsch (geb. 1850) Altpreußen bearbeiteten, handelte es sich hauptsächlich um die Gliederung des Diluviums, und deshalb werden wir hierauf später noch einmal zurückzukommen haben. Preußens Westprovinzen waren die besondere Domäne des Oberberghauptmanns H. v. Dechen, dessen großer Atlas in den Jahren 1855 bis 1884 erschien, und 1883 wurde von ihm seine geologische Übersichtskarte in zweiter Auflage herausgegeben. Die großen Umwälzungen des Jahres 1866 brachten auch einen Zusammenschluß der systematischen stratigraphischen Arbeiten Preußens mit denen der annektierten Länder zuwege. Den Harz hatten F. A. Roemer, A. v. Groddeck (1837—1887) und F. Klockmann so genau durchforscht, daß seine überaus verwickelten tektonischen Verhältnisse, um deren Klarstellung sich A. v. Koenen (geb. 1837) bemüht hat, nunmehr als in den wichtigen Punkten geklärt gelten können. In den Jahren 1871 und 1883 veröffentlichte v. Groddeck seine Geognosie des Harzes. Nassau war schon in den fünfziger Jahren von F. und G. Sandberger sehr exakt aufgenommen worden.

Das Königreich Sachsen war derjenige Staat des alten Deutschen Bundes, welcher sich von jeher einer besonders ausgebildeten Landesuntersuchung zu erfreuen hatte. Auf Werner und Freiesleben waren, wie wir wissen, K. F. Naumann, B. v. Cotta und H. G. Geinitz gefolgt, und 1872 trat K. H. Credner (geb. 1841) an die Spitze der in eine neue Bahn einlenkenden Arbeit, die Spezialkarten im Maßstabe 1:25000 herzustellen hatte. Die Erzlagerstätten, für ein Bergbau treibendes Land hervorragend wichtig, ermittelte allseitig A. Stelzner (Abschnitt XX), der zuvor in Argentinien seine Schule gemacht hatte. Dieselben Geologen, welche Sachsens geologische Kartierung durchgeführt hatten, nahmen sich auch um die thüringischen Staaten an, um die sich auch der als Meteorologe vielleicht noch bekannter gewordene E. Schmid (1815 bis 1885), sowie nachher F. Beyschlag, F. Regel (geb. 1854) und der reußische Landesgeologe K. Th. Liebe (1828—1894) Verdienste erworben haben. Eine Spezialkarte des Großherzogtums Hessen und der angrenzenden Länder schuf eine freiwillige Kommission hessischer Geologen, unter ihnen A. R. Ludwig (1812—1880) und E. Dieffenbach (1811—1855) zwischen 1854 und 1872; seit 1882 ist R. Lepsius (geb. 1851) Chef einer selbständigen Landesanstalt, und ebenderselbe hat eingehende Studien über das Mainzer Tertiärbecken angestellt, anknüpfend an F. Sandbergers ausgezeichnete Schilderung der dortigen fossilen Molluskenfauna (1858—1863). Schon zur Zeit der Selbständigkeit von Frankfurt a. M. war dessen Umgebung von H. v. Meyer paläontologisch studiert worden; A. Streng (Abschnitt XX), Fr. G. Kinkelin (geb. 1836), K. Chelius u. a. haben diese Beobachtungen über das Mündungsgebiet des Mains und über die benachbarte Wetterau fortgesetzt. Die jetzigen Rheinlande waren bereits in der französischen Zeit, wie vor allem die Namen Schimper und G. A. Daubrée (1814—1896) darthun, nicht vernachlässigt worden, und nachdem schon 1873 zu Straßburg i. E. ein fachmännischer Ausschuß gebildet war, in welchem die petrographisch-mineralogische Seite zu besonderer Geltung kam, übernahmen E. W. Benecke (geb. 1838) und H. Bücking (geb. 1851) im Jahre 1890 die Direktion einer elsässisch-lothringischen Geologischen Landesanstalt, die uns mit

schönen Arbeiten über die Vogesen beschenkt hat. Baden trat erst in den fünfziger Jahren in die Reihe der systematisch bearbeiteten deutschen Länder ein; Benecke, E. W. Cohen (Abschnitt XIV), A. H. v. Eck (geb. 1837) sind unter den Schwarzwaldgeologen in vorderster Reihe anzuführen, und von Ph. Platz erhielten wir 1888 eine geologische Übersichtskarte des Großherzogtums. Die Schichtenkunde Württembergs stand schon um 1850, dank einem Quenstedt und v. Alberti, auf einer ungewöhnlich hohen Stufe. Von 1863 an war die geologische Landesaufnahme dem Statistisch-Topographischen Bureau zugeteilt, und O. Fraas (1824—1897) hat, in späterer Zeit mit Unterstützung seines Sohnes E. Fraas, jahrzehntelang diesem Werke seine Kraft gewidmet, so daß seit 1893 eine ausgezeichnete Karte nebst detaillierter Beschreibung vorliegt.

Für Bayern war fast bis zum Beginn der gegenwärtigen Periode von seiten der eigenen Landeskinder nicht Genügendes geleistet worden. Die Forderung, an Stelle der zum öfteren zwar recht tüchtigen, aber immer doch nur vereinzelten Lokalbeschreibungen eine systematische Durchforschung treten zu lassen, stellte 1849 der in allen Sätteln gerechte v. Schafhäutl, und obwohl die Regierung nur bescheidene Mittel vorerst diesem Zwecke dienstbar zu machen in der Lage war, so fügte es doch das Glück, daß zunächst als Assistent, von 1854 ab jedoch als Direktor des Geologischen Bureaus, welches mit dem Oberbergamte verbunden wurde, einer der unermüdlichsten und erfolgreichsten Forscher für die große Aufgabe gewonnen wurde. Dies war W. v. Gümbel (Abschnitt X), einer der universellsten Geologen der Neuzeit, dessen Publikationen wohl kein irgendwie mit Geologie und Mineralogie im Zusammenhang stehendes Problem unberührt lassen. Es war ihm das Glück beschieden, den weitaus größeren Teil der gestellten Riesenaufgabe selbst erledigen zu können, denn nur Unterfranken, Pfalz und ein Teil Altbayerns harren zur Zeit noch der abschließenden Kartierung. Vier große, selbständige Bände enthalten den Text zu den musterhaft ausgeführten Kartenblättern, und aus der „Geologie von Bayern“ (Kassel 1894) kann sich jedermann die für irgend einen konkreten Fall wünschenswerte Belehrung holen. Es erfordert jedoch die Gerechtigkeit, anzuerkennen, daß v. Gümbels

Lebensarbeit nicht mit so großartigen Ergebnissen hätte abschließen können, wäre ihm nicht vergönnt gewesen, sich so tüchtiger Mitarbeiter erfreuen zu dürfen, wie sie ihm in A. Schwager, einem hervorragenden Kenner der chemisch-geologischen Untersuchungsmethoden, in O. Reis, der sich besonders mit fossiler Ichthyologie beschäftigte, in A. Leppla, H. Thürach, H. Loretz und namentlich in L. v. Ammon (geb. 1850) zur Verfügung standen — selbstthätigen Forschern, deren Leistung gegenüber der dominierenden Persönlichkeit des obersten Leiters vielleicht nicht immer in gebührender Weise hervortreten konnte. Die Nachfolgerschaft in der Oberaufsicht über die Landesaufnahme ist an v. Ammon übergegangen, der sich neuerdings hauptsächlich der bis 1845 ganz wenig beachteten und auch seitdem nur gelegentlich in Monographien bedachten Rheinpfalz annahm und auch zu den gründlichsten Erforschern der deutschen Glazialbildungen zählt. Seine Charakteristik der Umgebung Münchens in geologischer Beziehung (1894) darf als ein Muster solcher Regionalbeschreibungen angesehen werden, wie sie als Führer bei Exkursionen zu dienen pflegen.

Zu den in stratigraphischer Hinsicht best bekannten europäischen Ländern gehört ohne Frage die Schweiz, deren Bodengestalt dem Forscher doch genug Schwierigkeiten bereitet. B. Studer und A. Escher, der Sohn des Erbauers des Linthkanales, stehen hier am Eingange einer neuen Epoche, und die von beiden Männern herausgegebene Karte hat noch 1894 eine dritte Auflage erlebt. A. Favre (Abschnitt X) und E. Renevier (geb. 1831) haben die Alpen der französischen Schweiz außerordentlich fleißig durchforscht; für Graubünden ist G. L. Theobald (1810—1869), für das schweizerische Hügelland ist F. Mühlberg (geb. 1840), für die tektonisch rätselvollen Glarner Alpen sind A. Heim (geb. 1849) und A. F. Rothpletz (geb. 1853) bahnbrechend vorgegangen. Die schwerwiegende Kontroverse, welche bei dieser Aufnahmearbeit hervortrat, wird uns noch in diesem Kapitel beschäftigen.

Unter welchen Umständen Österreich zu seiner Geologischen Reichsanstalt gelangte, ist uns bereits bekannt. Die Leistungen, welche von derselben ausgegangen sind, haben die Bedenken, welche sich ihrer Begründung entgegenstellten, so vollständig wie nur

möglich zerstreut, denn die österreichisch-ungarische Monarchie steht, obwohl innerhalb ihrer Grenzen die Feldarbeit nichts weniger denn einfach und bequem vor sich geht, unter den geognostisch genau ergründeten Ländern mit in erster Linie. Bis 1866 verblieb W. v. Haidinger, der sich als Organisator so trefflich bewährt hatte, an der Spitze seiner Stiftung, und ihm folgte F. v. Hauer, der bis 1885 Direktor blieb und das gute Zeugnis, das ihm dereinst der alte L. v. Buch ausgestellt hatte, glänzend rechtfertigte. Als er das Amt niederlegte, kam es in die Hände von D. Stur (1827—1893) und dieser erhielt ein Jahr vor seinem Tode einen Nachfolger in K. H. G. Stache (geb. 1833). Gar mancher später zu hohem Ansehen aufgestiegene Forscher hat sich als Aufnahmegeologe der Reichsanstalt seine Sporen verdient; wir erinnern nur an v. Zittel, Stelzner, F. v. Hochstetter (1829—1884), K. Peters (1825—1881), F. v. Richthofen (geb. 1833), E. v. Mojsisovics (geb. 1839). Dauernd gehörten und gehören dem Institute an E. A. Tietze (geb. 1845), der unter den Karpathengeologen einen Ehrenplatz einnimmt, A. Bittner (geb. 1850), dessen feine Untersuchungen über die schwierigsten Materien der alpinen Schichtanordnung manch lebhafte Polemik ausgelöst haben, M. Vaček, F. Teller und andere mehr. Seit 1872 verfügt man über die den Namen v. Hauers tragende Übersichtskarte im Maßstabe 1 : 576000. Später hat J. Boeckh eine selbständige Anstalt für das Königreich Ungarn ins Leben gerufen, aber die ungarischen Geologen arbeiten natürlich den österreichischen Kollegen in die Hände, und so konnte 1898 Stache die erste Lieferung eines geologischen Atlasses herausgeben, dem der große Maßstab 1 : 75000 zu Grunde liegt, und der auf nicht weniger denn 341 Blätter berechnet ist. Denjenigen, welche die Vollendung dieses groß angelegten Werkes erleben, steht dann für das Detailstudium der Ostalpen ein unübertreffliches Hilfsmittel zu Gebote, wie es die an sich sehr verdienstlichen Übersichtskarten, die man von H. Bach und Noë besitzt, nicht gewähren können und wollen. Für die nördlichen Kronländer Böhmen, Mähren und Österr.-Schlesien liegen die verdienstlichen Arbeiten von J. Krejči (1825—1887) und O. Feistmantel (1848—1891) vor.

Vom Rumpfe Europas wenden wir uns seinen Gliedern zu. Die Pyrenäische Halbinsel stand, wie wir uns erinnern, lange Zeit sehr zurück, und erst 1864 gestattete die von E. Poulletier de Verneuil (Abschnitt X) und E. Collomb angefertigte Übersichtskarte eine wenigstens allgemeine Orientierung. Die seit 1872 in wirkliche Thätigkeit eingetretene Geologische Kommission Spaniens hat 60 Blätter, freilich noch in ziemlich großem Maßstabe, vollendet, und ein paar Jahre später hat auch Portugal unter C. Ribeiro und J. F. N. Delgado eine fruchtbringende Wirksamkeit zu entfalten begonnen. Weit schlimmer sieht es begreiflicherweise mit der großen südöstlichen Halbinsel aus. Daß die Türkei an Leuten und an Geld zu schlecht bestellt ist, um wissenschaftliche Zwecke fördern zu helfen, versteht sich für jeden Kenner der dortigen Zustände von selbst, und auch die kleineren, autonomen Balkanstaaten können erst allmählich daran denken, solche weiter aussehende Arbeiten aufzunehmen. Die Geologische Landesanstalt Rumäniens konnte keine dauernde Thätigkeit entfalten; indessen haben Stefanescu, Draghiceanu und L. Mrazec tüchtige Darstellungen der Gebirgsstruktur der Nordumrahmung ihres Vaterlandes geliefert, und über die Dobrudscha verbreiteten Licht K. Peters (1867) und J. F. Pompecki (1899). Als tüchtigster Kenner des Balkans gilt, nachdem v. Hochstetters Bereisung einen ersten Grund gelegt hatte, F. Toula, der seit 1875 diesem unwegsamen Gebirge seine Aufmerksamkeit zuwendet; Serbiens Kenntnis ist durch J. Cvijić, die Kenntnis Montenegros durch K. Hassert mannigfach gefördert worden. Für Nordgriechenland und die aegaeischen Inseln brach eine bessere Zeit an, als von 1874 an österreichische Geologen — Neumayr, Bittner, Teller — dort ihre an neuen Aufschlüssen reichen Aufnahmen zu machen anfingen; im Jahre 1880 schlossen sich ihnen deutsche Fachgenossen — R. Lepsius, Bücking — an, deren geologische Kartierungsarbeit vornehmlich den klassischen Landschaften Attika und Elis zu gute kam. Für den Peloponnes als Ganzes und für Thessalien schuf seit 1888 A. Philippson (geb. 1864) ein festes Fundament: zwar sind seine Arbeiten in erster Linie der Geographie gewidmet, allein mit richtigem Takte wird an einem beweiskräftigen Beispiele gezeigt, daß die Erdkunde nur auf geologischem Boden erwachsen

kann. So ist denn auch das beste, was über Orographie und Oberflächenbeschaffenheit des südlichsten Ausläufers der Balkanhalbinsel geschrieben ward, aus dem geographischen Lager hervorgegangen, indem J. Partsch (geb. 1851) ein nachgelassenes Manuskript seines Lehrers, des Breslauer Geographen K. Neumann (1823—1880), durch zahlreiche eigene Zusätze bereichert, der Öffentlichkeit übergab („Physikalische Geographie von Griechenland", Breslau 1885).

Unverhältnismäßig günstiger, als um jede der Halbinseln im Westen und Osten Europas, ist es um die mittlere, um die apenninische, bestellt. Daß auch schon vor der nationalen Einigung ein lebhaftes geologisches Treiben in den Einzelstaaten waltete, ist uns bekannt, aber recht zielbewußt konnte sich dasselbe doch erst seit der Schaffung einer Zentralanstalt zu Ende der sechziger Jahre gestalten. G. Meneghini (Abschnitt X), G. Capellini (geb. 1833), Pellati u. a. haben bei den bisher vollzogenen Aufnahmen vorzugsweise die Hand im Spiele gehabt. Bis jetzt sind, neben einer großen Übersichtskarte, von Sizilien, Kalabrien und einigen anderen Landesteilen besondere Blätter ediert worden, und fortlaufende Veröffentlichungen der Zentralstelle ergeben dazu die wünschenswerten Erläuterungen. Ganz Vorzügliches hat auch Frankreich in seinen Departementskarten aufzuweisen, und wenn auch, da eine Vielzahl von Bearbeitern in Betracht kommt, der Wert aller einzelnen Exemplare kein ganz gleichmäßiger ist, so verbürgt doch der Name vieler Teilnehmer die vollendete Güte. Es genügt, Daubrée und die Jurageologen A. Lory und E. Thirria besonders zu nennen. Die Pyrenäenforschung darf sich eines A. Leymerie (1801—1878) und E. De Margerie rühmen. Ungemein bequem haben es die Franzosen allen Denen gemacht, die das an Belehrungsstoff so reiche Land auf Ausflügen genauer kennen lernen wollen; giebt es doch sogar, aus der Feder von A. A. De Lapparent (geb. 1839), eine „Geologie auf der Eisenbahn" (Paris 1888), die es sogar dem die Gegend Durcheilenden ermöglicht, sich von deren stratigraphischer Eigenart ein Bild zu entwerfen. Ähnliches darf auch vom Nachbarlande Belgien gesagt werden, wo A. Dumonts umfassende Arbeiten noch immer den Grundstock der gesamten Forschungsthätigkeit bilden.

De Konincks Studien über das belgische Kohlengebirge setzte J. A. Gosselet fort, dessen „Prodromus“ einer Geologie des Landes (1880) die bis dahin erreichten Resultate einheitlich zu überblicken gestattet. Die 1877 in Fluß geratenen Arbeiten einer Landesdurchforschung wurden E. F. Dupont (geb. 1841) unterstellt, und den im Maßstabe 1 : 20000 hergestellten Karten dieser Landesbehörde erteilt v. Zittel das Prädikat „musterhaft“. Außerdem wirkt seit 1896 ein von M. Mourlon beaufsichtigter „Geologisch-belgischer Dienst“ zunächst im montanistischen und weiterhin auch im allgemein-wissenschaftlichen Interesse. Was ersteres für einen Staat zu besagen hat, dessen Wohlstand großenteils auf den metallurgischen Gewerben und auf der Glasindustrie beruht, bedarf keiner weiteren Auseinandersetzung.

Das Vaterland der wissenschaftlichen Stratigraphie, Großbritannien, ist auf dem einmal betretenen Wege rüstig fortgeschritten. De la Beche, der uns als erster Chef der geologischen Landesaufnahme in bester Erinnerung steht, hatte bis 1871 R. Murchison zum Nachfolger; bis 1881 war A. C. Ramsay (1814—1895) an der Spitze, dem sein eigener Nachfolger, Archibald Geikie (geb. 1835), ein schönes biographisches Denkmal gesetzt hat. Geikie ist noch jetzt der oberste Leiter. Die „Survey“ zerfällt in drei Abteilungen mit je einem eigenen Vorstande, und zwar, der geographischen Gliederung folgend, für England-Wales, Schottland und Irland. Wenige schottische Distrikte abgerechnet, ist die eigentliche Feldarbeit als abgeschlossen zu betrachten, und man geht emsig daran, die älteren Karten, die noch zu sehr den minder entwickelten Kenntnisstand der Vergangenheit verraten, durch verbesserte zu ersetzen. Ch. Lapworth hat es durch seine Analyse des stratigraphischen Befundes dahin gebracht, die überaus verwickelten Lagerungsverhältnisse Hochschottlands aufzuklären, und andere Geologen sind ihm darin gefolgt, von Ausländern insbesondere A. Rothpletz.

Im Norden Europas haben Holland, das nur in der Umgebung Mastrichts anstehendes Gestein aufweist, und Dänemark, wo sich nur die Kreideinsel Möen und die Granitinsel Bornholm im gleichen Falle befinden, den Geologen nur ein beschränktes

Arbeitsfeld dargeboten. Schweden, wo einst L. v. Buch unvergängliche Eindrücke erhalten hatte, gab sich 1858 eine oberste geologische Instanz, als deren Vorstände folgeweise A. Erdmann, O. Torell, der Erforscher von Spitzbergen, und A. E. Toernebohm (geb. 1838) zu nennen sind. Die Kartierung ist hier ebenso weit fortgeschritten wie in Norwegen, wo 1850 Keilhaus „Gaea Norvegica", die mit eigenen Beobachtungen solche v. Buchs und J. Esmarks vereinigte, eine Basis für weitere Forschung legte. Th. Kjerulf (1825—1888), W. C. Broegger (Abschnitt XX) und H. H. Reusch (geb. 1852), zeitiger Vorstand der geologischen Landesuntersuchung, haben durch Schriften und Karten die Kenntnis der Struktur dieser durch Sprünge und Verwerfungen mannigfach umgestalteten Gebirgsmassen gefördert.

Wenn wir unseren Blick nunmehr auf das russische Reich lenken, so lassen wir zugleich die Grenzen Europas hinter uns. Was in den fünfziger, sechziger und siebziger Jahren hier geschah ist gewiß nicht wenig, aber es trug noch nicht den offiziellen Stempel. Die baltischen Provinzen stellten die meisten Arbeitskräfte, und erstere zogen selbstverständlich auch aus diesem Verhältnis die meisten Vorteile. Wir gedachten mehrerer dieser Gelehrten bereits im geographischen Abschnitte; ihnen reihen sich noch K. E. v. Eichwald (1795—1876), G. v. Helmersen (Abschnitt X) und H. Trautschold (geb. 1817) an, der von seinem Wohnorte Moskau aus das Innere Rußlands eifrig untersucht hat. Mit der Entstehung des „Comité Géologique" (1884) wurde eine neue Ära eingeleitet, die sich auch äußerlich dadurch offenbart, daß neben den Deutschen auch immer häufiger Nationalrussen in die Reihe der Forscher treten. A. Karpinsky, N. Andrussow, der durch ein vorzügliches Werk über die Natur der Dünen auch in Deutschland wohlbekannte W. Sokolow sind ausgezeichnete Repräsentanten dieser Kategorie. Einen vorläufigen Abschluß für das europäische Rußland bot die große Übersichtskarte im Maßstabe 1 : 2520000. P. L. v. Schrenck (1826—1894) und Friedrich Schmidt (geb. 1832) gaben 1872 die ersten, auf modernen Anschauungen beruhenden Nachrichten über Sibirien, u. a. über den marinen Charakter der in den Tundren gefundenen Versteinerungen, und die Expeditionen von A. v. Bunge

und E. v. Toll nach dem äußersten Nordosten brachten wichtige Ergänzungen. Dem Altai hat B. v. Cotta eine wertvolle geologisch-montanistische Spezialschrift gewidmet (Leipzig 1871). Zentralasien und das Plateau von Pamir wurden und werden von J. Muschketow (geb. 1850) und G. Romanowski, sowie von dem anläßlich der geographischen Erkundung genannten Stoliczka dem Zustande totalen Unbekanntseins entrissen, in welchem sie sich noch vor kurzem befanden.

Das Riesenreich China stellt sich auch geologisch noch in manchen Teilen als eine terra incognita dar. Hervorragende Leistungen hat man jedoch von R. Pumpelly, der in den sechziger Jahren die Mongolei und Nordchina bereiste; von F. v. Richthofen, der um 1870 mehrere Jahre in den östlichen Provinzen weilte und uns in einem klassischen Werke (1877 bis 1885), dessen zweiter und vierter Band hierher gehören, ein fest gefügtes Gerüste für den Aufbau eines künftigen Gebäudes gezimmert hat; endlich von dem Ungarn L. v. Lóczy, der in den neunziger Jahren, als Begleiter des Grafen Széchenyi, viele noch ganz jungfräuliche Regionen des Reiches der Mitte zu sehen Gelegenheit hatte. Was man von der Geologie Koreas weiß, verdankt man K. Gottsche. Als Japan sich entschloß, europäische Bildung bei sich heimisch zu machen, berief es den deutschen Geologen E. Naumann (geb. 1854) zur Leitung einer geologischen Landeserforschung, und als dieser nach Deutschland zurückkehrte, setzten die Japaner Wada und Kochibe das von ihm begonnene Werk fort. J. Reins (geb. 1835) groß angelegte Beschreibung des Inselreiches (Leipzig 1881—1887) macht den ersten gelungenen Versuch zu einer übersichtlichen Darstellung des Bodencharakters und Gebirgsbaus.

Vom Festlande Hinterindiens ist aus naheliegenden Gründen noch wenig zu berichten, und auch das ehemals spanische Kolonialgebiet ist fast nur in vulkanologischer Beziehung etwas genauer bekannt. Die niederländische „Insulinde“ hat in K. Martin, K. E. A. Wichmann (geb. 1851) und vor allem in dem durch sein Krakatau-Werk als vorzüglicher Kenner der Landesnatur legitimierten R. D. M. Verbeek gewiegte Schilderer gefunden. Das geologisch gründlichst durchforschte Territorium Asiens ist jedoch zweifellos Hindostan

mit seinen östlichen und westlichen Annexen. Auch für diese seine wichtigste Kolonie hat Großbritannien eine „Geological Survey“ ins Leben gerufen (1846), und damit war der Anstoß gegeben, zur Entstehung einer an neuen Thatsachen fruchtbaren Himalayageologie, für deren hervorragendste Vertreter W. Th. Blanford (geb. 1832) und H. B. Medlicott (geb. 1829) zu halten sind. Ihr orientierendes Werk von 1879 hat R. D. Oldham 1893 in zweiter Auflage herausgegeben. Den Vasallenstaat Beludschistan nahmen zwei in britische Dienste getretene Deutsche, C. L. Griesbach (geb. 1847) und F. Noetling — letzterer auch ein Kenner der Verhältnisse Burmas —, in ihre besondere Obhut.

Wer sich näher mit der Erdkunde beschäftigt hat, der weiß, wie ungemein viel unsere topische Kenntnis Westasiens noch zu wünschen übrig läßt, und wundert sich folglich nicht, zu vernehmen, daß es mit der Geologie noch minder gut bestellt ist. Für das gesamte Kleinasien ist P. v. Tchihatchews (1812—1890) Werk („Géologie et paléontologie de l'Asie Mineure“, Paris 1867—1869) trotz aller unvermeidlichen Mängel noch immer die beste Quelle, während für Kappadokien E. Naumann, für Lykien E. Tietze erhebliche Erweiterungen unseres Wissens herbeiführten. Syrien und Palästina sind zunächst dem Amerikaner F. W. Lynch und dem Franzosen L. Lartet, in der Folgezeit aber vier Forschern deutschen Namens, O. Fraas, K. Diener, M. Blanckenhorn und J. Walther (geb. 1860) zu Dank verpflichtet. Dieser letztere hat eine höchst ansprechende Skizze der Sinaihalbinsel mit ihrer Korallenwelt entworfen. Die Geognosie Persiens förderten K. Grewingks (1819—1887) Beschreibungen (1853), und man ist leider seitdem noch nicht viel über den damit erreichten Standpunkt hinausgekommen; ebenso wie auch seit W. G. Palgraves (1826—1888) Bereisung unsere Einsicht in die Oberflächenbeschaffenheit Arabiens nicht die wünschenswerten Fortschritte gemacht hat. Über die Insel Cypern hat man von A. Bergeat dankenswerte Mitteilungen empfangen.

Das geologische Gemälde Afrikas ist gleicherweise noch ein recht unvollständiges und buntscheckiges. Einzelne Gebiete sind, wie die zusammenfassenden Darstellungen von G. Gürich (geb. 1859) (1887) und M. Blanckenhorn (geb. 1861) (1896) darthun, ziemlich allseitig, recht

viele andere noch gar nicht erschlossen. Für Marokko konnte nur in flüchtigen Streifzügen, unter denen diejenigen von K. v. Fritsch (1879), O. Lenz (1880) und Th. Fischer (1899) die folgenreichsten waren, einige gesicherte Beobachtungen gewonnen werden; der französische Kolonialbesitz ist durch H. Coquand und Ch. Tissot der Kenntnisnahme zugänglicher gemacht worden. Über Ägypten und seine dereinst bis zur großen Seenregion vorgeschobenen Tributärländer haben G. Schweinfurth (geb. 1836), A. Sickenberger, J. Walther, über Abessynien hat W. Th. Blanford, über Äquatoria Emin Pascha — von Hause aus bekanntlich ein ehrlicher Schlesier des Namens Schnitzer (1840—1892) — gearbeitet, und seit vier Jahren läßt der Khedive auch amtlich Materialien für die geologische Untersuchung der Nilländer sammeln. Was man für die kolonisierten Küstenstriche besitzt, ist lückenhaft, obwohl es an wertvollen Anfängen keineswegs gebricht; wir wollen nur die Studien Pechuël-Loesches (geb. 1840) über die als Laterit bekannte, einen sehr großen Teil des „dunklen" Kontinentes beherrschende Bodenbildung (1883) und E. v. Stromers mit größtem Fleiße durchgeführte Überschau über die Verhältnisse des Ostens und Kameruns („Geologie der deutschen Schutzgebiete in Afrika", München 1896) namhaft machen. Im südafrikanischen Dreieck, welches schon um deswillen die Aufmerksamkeit der Forscher erregte, weil zwischen gewissen dortigen Schichtenfolgen und solchen, die man aus Vorderindien kennt, eine auffallende Ähnlichkeit obwaltet, ist durch Griesbach, Gürich, A. Schenk, F. M. Stapff (1836—1897), den berühmten Geologen der Gotthardbahn, und manch anderen wenigstens ein guter Grund gelegt worden. Die 1897 von G. A. F. Molengraaf eingerichtete Anstalt der Südafrikanischen Republik dürfte durch den Krieg unheilbar betroffen worden sein. Über Madagaskars geologische Verhältnisse verbreitet eine Abhandlung von R. Baron (1889) einiges Licht, und die nordwestlichen Archipele wurden namentlich von G. Hartung und C. Doelter (Abschnitt XX) besucht und beschrieben.

Insofern Australiens Festland merkwürdig monotone Bilder sowohl in stratigraphischer wie auch in tektonischer Hinsicht darbietet, hat es das Interesse der Geologen einstweilen noch nicht sehr nachhaltig zu fesseln vermocht. Doch versteht es sich von selbst,

daß die wohl organisierten Staaten — nur Queensland steht anscheinend noch aus — Institute für die Landeserforschung begründet haben, durch deren geregelte Arbeit die älteren Angaben von Leichhardt, F. E. Woods (1863) und W. B. Clarke (1878) beträchtlich vervollständigt worden sind. Von der australischen Inselwelt ist zu allererst Neu-Seeland, das Dorado des Vulkanforschers, zu erwähnen; v. Hochstetter, J. F. v. Haast (1822—1887) und vor allem J. Hector haben uns vorzügliche Schilderungen von der geradezu abenteuerlichen Mannigfaltigkeit der vulkanischen Bildungen der Nordinsel geliefert. Die Eilande Poly-, Mela- und Mikronesiens sind ausnahmslos entweder vulkanische Aufschüttungen oder Korallenbauten und darum minder geeignet, dem Aufnahmegeologen lohnende Arbeit zu liefern.

Wir wenden uns jetzt der Neuen Welt zu und konstatieren, daß Britisch-Nordamerika schon seit 1843 eines geordneten geologischen Dienstes teilhaftig ist. W. E. Logan (Abschnitt X), sodann A. R. Selwyn und zuletzt G. M. Dawson (geb. 1849) sind folgeweise mit der Leitung der Untersuchungen betraut gewesen, und sowohl General- wie auch Spezialkarten wurden reichlich hergestellt. Die Verfassung der Vereinigten Staaten ließ einheitliche Unternehmungen dieser Art nicht in Gang kommen, und es blieb den Einzelstaaten überlassen, für sich die entsprechenden Vorkehrungen zu treffen. So erhielt Pennsylvanien 1864, aus der Feder der Gebrüder Rogers, ein vortreffliches Werk über seine Alleghanies, und in Newyork war J. Hall (1811—1898) bis in sein hohes Alter Direktor des Institutes, welches er 1837 hatte begründen helfen. Gegenwärtig entbehren nur noch wenige Staaten eines geologischen Amtes, und auch die Staatsregierung ließ sich von 1860 an die Sache mehr angelegen sein, um zunächst die damals noch zahlreichen Territorien, denen jede selbständige Instanz für solche Zwecke fehlte, geologisch begehen zu lassen. F. V. Hayden (1829—1887) erhielt diesen Auftrag und entledigte sich desselben im Verlaufe von fast zwei Dezennien in mustergiltiger Weise. Gleich darauf wurden unter Cl. King (geb. 1842), J. W. Powell (geb. 1834) und J. D. Whitney (1819—1896) besondere „Surveys“ für den 40. Parallel, für die Rocky Mountains und das

Land westlich von 100° w. L. organisiert, mit deren Ergebnissen teilweise Lepsius die deutschen Leser bekannt gemacht hat. Endlich kam dann 1879 ein Zentralinstitut zustande, seit 1894 von Ch. D. Walcott (geb. 1850) geleitet, unter dessen Ägide ein gewaltiger Stab von Mitarbeitern das Land vornämlich im Interesse der Bodenkultur und des Bergbaus durchforscht. Übersichtskarten der Union wurden 1881 von C. H. Hitchcock und 1892 von Mac Gee gezeichnet. Für Mexiko, das Land der politischen Wirren, wollten die Arbeiten des Friedens nicht recht gedeihen; indessen haben von 1890 an zwei jüngere deutsche Geologen, J. Felix und M. Lenk, die bestehende Lücke nach Möglichkeit ausgefüllt. Von den Bermudas gab J. Rein 1864 eine geologische Skizze, und die spanischen Antillen bearbeitete im gleichen Sinne 1871 F. de Castro. Zentralamerika ist noch an recht vielen Stellen ein geologisches Mysterium, und es sind die Kenntnisse, die wir von den dortigen Verhältnissen erlangt haben, wesentlich denselben Männern zu danken, deren der geographische Abschnitt ehrend gedacht hat, an erster Stelle K. Sapper (jetzt in Leipzig).

Was im Jahre 1856 von der geologischen Struktur Südamerikas einigermaßen zuverlässig bekannt war, bringt eine Übersichtskarte des Österreichers F. Foetterle (Abschnitt X) zur Anschauung. Seitdem haben die nordwestlichen Staaten in H. Karsten (geb. 1817), J. G. Sawkins, Th. Wolf, W. Reiß und A. Stübel Interessenten gefunden, die eine Reihe wichtiger Thatsachen feststellten. Sehr gut bekannt ist der Galápagos-Archipel, mit dem sich Th. Wolf, G. Baur und A. Agassiz (geb. 1835) beschäftigt haben. Die paläontologischen Grundlinien für Chile zog 1887 R. A. Philippi (geb. 1808), und Patagonien wurde seit Beginn der achtziger Jahre durch G. Steinmann, Hauthal und vor allem durch F. Ameghino, der die Frage nach dem tertiären Vorkommen des Menschen in Fluß brachte, sehr allseitig erkundet. Eine in der zweiten Hälfte der neunziger Jahre nach dem Feuerland unternommene Expedition des schwedischen Geologen O. v. Nordenskiöld hat die wissenschaftliche Erschließung dieser abgeschiedenen Insel über das von Ch. Darwin erreichte Niveau hinausgeführt. Argentinien haben H. K. Bur-

meister (1807—1892), L. Brackebusch, der Autor einer schön ausgeführten geologischen Karte des Staates, und Ameghino nicht bloß in den Elementen skizziert, sondern teilweise sehr genau erforscht. Brasilien übertrug dem Nordamerikaner O. A. Derby (geb. 1851), dem längere Zeit der Böhme F. Katzer zur Seite stand, eine Landesaufnahme, an der noch rüstig gearbeitet wird, und für die großenteils von Deutschen besiedelten Südoststaaten der großen Republik war und ist H. v. Ihering thätig. Unsere Einsicht in die Verhältnisse Guyanas stützt sich der Hauptsache nach auf die von J. G. Sawkins (1806—1878) im Jahre 1871 mitgeteilten Beobachtungen.

Die Stratigraphie und Tektonik der antarktischen Welt suchte 1886 H. Reiter, freilich nicht ohne Widerspruch seitens Tietzes und Bittners, in einheitlichem Bilde darzustellen. Was von der arktischen Zone zu sagen ist, deckt sich mit den im vorigen Abschnitte enthaltenen Angaben. Wir wollen nur hinzufügen, daß über die Geologie von Spitzbergen A. G. Nathorst (geb. 1850), über diejenige der Bären-Insel G. De Geer ausführlich gearbeitet haben. Island fesselt fast ausschließlich den Vulkanologen und den Gletscherforscher; Sartorius v. Waltershausen, R. Bunsen, F. Zirkel (Abschnitt XX), A. Helland, K. Keilhack lieferten wichtige Beiträge zur Kenntnis der Insel, die auf die Jahre 1847, 1851, 1861, 1885 und 1886 entfallen. Th. Thoroddsen, geborener Isländer, ist seit Jahren für die Landeskunde seiner Heimat mit dem rühmlichsten Eifer eingetreten. Zur allgemeinen geologischen Orientierung ist aber noch immer das zu wenig bekannt gewordene Werk „Island; der Bau seiner Gebirge und dessen Boden“ (München 1863) von G. G. Winkler (geb. 1820) zu empfehlen.

Hiermit ist unser Rundgang durch die Länder der Erde beendigt, und wir sind in die Lage versetzt, von den Errungenschaften Akt zu nehmen, welche eine so unermüdliche und in sehr vielen Fällen auch zielbewußt organisierte Feldarbeit mit sich bringen mußte. In der That ist man am Ende des 19. Jahrhunderts so weit gekommen, mit leidlicher Bestimmtheit auszusagen, wie sich die Anordnung der Schichten auf einem sehr großen

Teile der Erdoberfläche gestaltet, oder, was auf dasselbe hinauskommt, welches in einem gegebenen geologischen Zeitalter die Verteilung von Land und Wasser gewesen ist. Als L. v. Buch am Ende seines thatenreichen Lebens stand, war die Einteilung der Erdrinde in Formationen in den großen Zügen vollendet, aber allerdings konnte die feinere Gliederung erst nach und nach erfolgen, wie sich eben die stratigraphischen und paläontologischen Materialien Denen, welche sich an der schwierigen Arbeit beteiligten, zur Verfügung stellten. Unsere nächste Pflicht wird mithin darin bestehen, die bemerkenswertesten Fortschritte in der Lösung der Aufgabe zu registrieren, als deren Ziel wir das folgende bezeichnen können: Durchführung einer möglichst scharfen Detailgliederung jener mächtigen Stockwerke, mit deren Abgrenzung man um 1850 zu stande gekommen war. Es ist auf diesem Gebiete so ungemein viel geschehen, und es ist die Einteilung, wie dies bei naturhistorischen Bestimmungen keine Seltenheit zu sein pflegt, zum öfteren so sehr ins einzelne getrieben worden, daß eine genaue Aufzählung der in Betracht kommenden litterarischen Arbeiten zur Unmöglichkeit gemacht ist. Die Richtung jedoch, in der sich diese Bestrebungen bewegen, wird auch durch die Mitteilung einiger besonders in die Augen fallender Thatsachen ausreichend gekennzeichnet.

Die sonst übliche paläontologische Methode versagt gegenüber den archäischen Schichten, da sie eben versteinerungslos sind. Die 1854 von W. E. Logan (Abschnitt X) erweckte und auch von einigen anderen amerikanischen Geologen genährte Hoffnung, im Eozoon Canadense doch ein der Gneisformation angehöriges Lebewesen — eine angebliche Foraminifere — als Leitfossil erhalten zu haben, wurde allerdings von K. A. Moebius (geb. 1825) zu nichte gemacht, und auch später aufgefundene, vermeintlich tierische Reste der präkambrischen Schichten, die Ch. Barrois um 1890 für sehr wichtig erklärte, sind von anderer Seite für rein mineralische Bildungen erklärt worden. Lediglich auf die Lagerungsverhältnisse Bezug nehmend, haben aber doch Logan (1863) für Kanada und v. Gümbel (1868) für das bayerisch-böhmische Grenzgebirge eine anerkannte Alterseinteilung zu stande

gebracht, und in beiden Fällen ist die Übereinstimmung, so weit auch die Gebiete auseinanderliegen, eine ziemlich große. Über die Selbständigkeit des Kambriums gegenüber dem Silur wurde bis in die siebziger Jahre zwischen Murchison und Sedgwick ein förmlicher Krieg geführt, der die Fachmänner Großbritanniens in zwei feindliche Heerlager schied. Längere Zeit schien Murchison, der sich gegen die Selbständigkeit einer präsilurischen Formation im Paläozoikum erklärte, den Sieg behaupten zu wollen, allein die Folgezeit hat doch wesentlich seinem Gegner Recht gegeben. Auch J. B. Marcous (geb. 1824) Bemühen, von der kambrischen Schichtenreihe nach unten zu eine takonische abzugrenzen, blieb ohne Erfolg. Dagegen nahm man gewisse, durch „Kolonien" fremdartiger Tiere gekennzeichnete Lagen dem oberen böhmischen Silur weg und eignete sie nach dem Vorschlage E. Kaysers, dem im Harz ähnliche Versteinerungsgruppen begegnet waren, dem unteren Devon zu. Die Devonformation hat in Belgien durch Gosselet, im rheinischen Schiefergebirge durch v. Dechen, die Gebrüder Sandberger und E. Kayser, im Harz durch M. Koch, in den Ostalpen durch R. Hoernes (geb. 1850) und F. Frech (geb. 1861) ihre normative Abrundung erhalten. Frech hat auch in der Neubearbeitung von Bronns „Lethaea palaeozoica" (1897) die drei untersten Stockwerke der paläozoischen Hauptformation den neuesten Anschauungen gemäß dargestellt. Weniger hat sich an Grenzen und innerer Gliederung des Karbons geändert, für welches die Arbeiten von De Koninck, Gosselet, F. Roemer, H. B. Geinitz maßgebend blieben; H. Mietsch hat 1875 eine „Geologie der Kohlenlager" geliefert, an die sich neuestens die Darlegungen von E. Holzapfel in Aachen über Auftreten und Zusammenhang der deutschen Kohlenbecken anschlossen. Um so mehr Anlaß zur Kontroverse bot das Oberstockwerk, dem, wie erwähnt, Murchison den Namen Permisches System beigelegt wissen wollte. Marcou ersetzte diesen in dem Aufsatze „Dyas et Trias", den 1859 die Genfer Zeitschrift „Bibliothèque Universelle" brachte, durch das den deutschen und teilweise auch den nordamerikanischen Verhältnissen angepaßte Wort Dyas, Rotliegendes und Zechstein umfassend. Seit dem Ende des siebenten Dezenniums kennt man, wie

v. Gümbel und Stache darthaten, Analogien dieser Bildungen auch in den Alpen; für sie ist die italienische Lokalbezeichnung Verrucano herrschend geworden. Vor allem aber wiesen die indobritischen Geologen dieser Formation auch die Gondwana- und Talchirstufe zu, und da für sie in der Pflanzengattung Glossopteris ein ausgezeichnetes Leitfossil ermittelt war, so konnten gleichzeitige Ablagerungen auch in Australien und, worauf schon hingewiesen ward, nicht minder in den südafrikanischen Karrooschichten nachgewiesen werden. Indessen besteht neuerdings wieder Neigung, die Trennung zwischen Kohlen- und Dyasformation ganz fallen zu lassen, wie denn der berühmte französische Geologe A. De Lapparent nur von einem „Système permo-carbonifère“ spricht.

Die meist umstrittene Formation, und zwar nicht nur etwa der mesozoischen Aera, sondern überhaupt aller Stockwerke der festen Erdkruste, ist die Trias. Diejenige der Mittelgebirge zwar blieb, nachdem v. Alberti und v. Buch die wohlbekannten Grundlinien entworfen hatten, von tief gehenden Diskussionen ziemlich verschont, und nur die Anbringung zahlreicher Zwischenhorizonte behufs feinerer Differenzierung — zumal des Keupers — hat viele Fachleute beschäftigt, unter denen an erster Stelle v. Gümbel zu nennen ist. Dagegen wurde schon in Abschnitt X angedeutet, daß es außerordentlich schwer war, synchrone Glieder der in seichtem Wasser abgesetzten gewöhnlichen und der aus einer Tiefsee abgeschiedenen pelagisch-alpinen Trias zu bestimmen. Hier ging die junge Wiener Reichsanstalt bahnbrechend vor, und ihr kamen zu Hilfe von italienischer Seite (1855 bis 1860) G. Curioni (1796—1878) und A. Stoppani, von deutscher v. Gümbel (seit 1854), von schweizerischer P. Merian und Escher v. d. Linth. Das Jahr 1854 brachte eine fundamentale Arbeit von Eduard Sueß (geb. 1831) über die sogenannten Koessener Schichten, und 1857 lieferte v. Hauer sein mit Recht berühmtes Nord-Süd-Profil durch die Alpen, welches von Passau bis Duino (nächst Triest) reicht und in den Raibler Schichten ein neues, genau bestimmtes Glied der Alpentrias festlegte. Es hat vierzig Jahre gedauert, bis diesem ersten gelungenen

Versuche ein zweiter folgte, der insofern leichter war, als man inzwischen über sehr viele Dinge klarer zu urteilen gelernt hatte, insofern aber auch recht viel schwerer, weil diesmal eine unverhältnismäßig größere Menge von Einzelheiten richtig unterzubringen war. Dieser zweite meridionale Alpenquerdurchschnitt hat A. Rothpletz zum Autor. Um auf die Sturm- und Drangperiode der Alpengeologie zurückzukommen, betonen wir nochmals, und zwar unter ganz anderem Gesichtspunkte, das Jahr 1857. Damals kamen nämlich österreichische, deutsche und schweizerische Gelehrte überein, die Vorarlberger Alpen, mit deren Spezialaufnahme v. Richthofen betraut war, einer gemeinschaftlichen Besichtigung zu unterziehen, und deren Ergebnis, welches A. v. Pichler (1819 bis 1900) für Nordtirol in den großen Zügen bestätigt fand, gestattete eine weitere Identifizierung der mitteldeutschen und der alpinen Trias. Die an Reichtum und feiner Detailentwicklung ihrer Fauna unübertroffenen St. Cassianer Schichten begannen nunmehr in den Vordergrund zu treten. Den damals erreichten Umfang des Wissens über die in Rede stehenden Probleme charakterisiert eine noch jetzt als Quelle ersten Ranges zu betrachtende Monographie v. Richthofens („Geognostische Beschreibung der Umgegend von Predazzo, St. Cassian und der Seißer Alp“, Gotha 1860), der auch für die im Permzeitalter erstarrten Porphyr- und Melaphyrbildungen eine autoritative Bedeutung zukommt. Die Bayerischen und Salzburger Alpen waren bis dahin noch etwas seitwärts liegen geblieben, aber seit 1861 drangen v. Gümbels Aufstellungen in weitere Kreise, und zwar wurden die dem Salzachthale angehörigen Werfener Schichten als Buntsandstein, die oberösterreichischen Guttensteiner Schichten als Muschelkalk und endlich die schon angeführten Raibler Schichten als Keuper angesprochen. Von Einzelkorrekturen abgesehen, hat sich diese Gliederung bis zur Gegenwart behauptet. Um die Mitte der sechziger Jahre erwachte, hauptsächlich durch v. Mojsisovics und G. K. Laube (geb. 1839) angeregt, ein neues Leben, doch hat sich nicht alles, was insbesondere der Erstgenannte an neuen Thatsachen zu schaffen geglaubt hatte, aufrecht erhalten lassen, und vor allem hat über die Berechtigung einer norischen und juvavischen Provinz die

Kontroverse bis in unsere Tage angehalten; sie wurde nicht selten mit einer Bitterkeit geführt, die nicht angebracht ist, wenn jede der streitenden Parteien davon überzeugt sein muß, daß es auch der anderen schließlich doch nur um die Wahrheit, und nicht um persönliche Rechthaberei, zu thun sein kann. Aber wenn man nur die Summe aus dieser Fülle redlichster Arbeit zieht und übersieht, daß einzelne Fragen noch ungelöst dem 20. Jahrhundert überantwortet werden, so muß man doch sagen: Die alte Streitfrage nach Alter, Natur und paläontologischer Zugehörigkeit der einzelnen Abteilungen der Hochgebirgstrias ist in den wesentlichen Punkten gelöst. Auch für die durch ganz besonders schwierige tektonische Umbildungen kompliziert gewordenen Lagerungsverhältnisse der bayerischen Nordalpen ist durch A. Rothpletz, S. v. Woehrmann, E. Fraas, R. Schaefer, Haushofer u. a. der Schleier fast allenthalben gelüftet worden, und die Gebiete, innerhalb deren noch völlige Unsicherheit herrscht, sind jedenfalls nur noch in einer ganz geringen Anzahl vorhanden.

Wir wissen, daß Greßly, v. Buch und Quenstedt die Juraformation und deren Zerfällung in die bekannten drei Etagen Lias, Dogger und Malm, von unten her gerechnet, zur allgemeinen Anerkennung gebracht hatten. Die zehn Stufen, welche 1855 D'Orbigny aufstellte, und welche in der Mehrzahl der Fälle an örtliche britische Vorkommnisse — „Oxfordien", „Portlandien" u. s. w. — anknüpften, haben sich Geltung verschafft. Die noch einigermaßen schwankende Bezeichnung der Stockwerke fixierte in der zweiten Hälfte der fünfziger Jahre A. Oppel (1831 bis 1865), der sich im übrigen der Terminologie D'Orbignys bediente und nur gewisse Bildungen, für welche der französische Forscher eine Altersdifferenz angenommen hatte, als gleichzeitig und lediglich in der Fazies verschieden erklärte. Im ganzen zieht Oppel 32 Horizonte durch die Juraformation; Neumayr und W. H. Waagen (1841—1899) traten in die Fußstapfen ihres Lehrers und übertrugen dessen Zonen auch auf Länder, in denen neue jurassische Bildungen aufgefunden worden waren. Von Neumayr haben wir auch (1885) eine hervorragend tüchtige

Leistung auf dem Gebiete der Paläogeographie erhalten, indem derselbe eine Karte publizierte, welche die Verteilung des festen und flüssigen Elementes für das Jurazeitalter ersichtlich macht, und dieser trotz aller seitdem gemachten Einwendungen unstreitig höchst gelungene Versuch gewährte auch die Möglichkeit, einen Einblick in die Anordnung der tellurischen Klimagürtel für jene Epoche thun zu können. Bemerkt sei, daß neuerdings viele Geologen die Liasbildungen selbständig erfassen und nicht mehr dem eigentlichen Jura zugezählt wissen wollen. Auch die obere Grenze des letzteren schien durch Oppels Einschiebung (1865) des Tithons zwischen Jura und Kreide flüssig werden zu wollen, allein verschiedene neuere Paläontologen, vorab v. Zittel, betrachten den Tithon als das oberste Glied des Jura und als zeitliches Äquivalent der von russischen Forschern wahrgenommenen Wolgastufe. Damit sind wir also schon hart an die unterste Kreidestufe, an das nach der lateinischen Benennung der schweizerischen Stadt Neuenburg so bezeichnete Neokom, herangekommen, welches J. Ewald von dem unmittelbar darüber liegenden Gault zu trennen lehrte. In den fünfziger Jahren legten die Franzosen E. Hébert (1812—1890) und H. Coquand (1813—1881), die allerdings unter sich wenig einig waren, den Grund zur Differenzierung der mittleren und oberen kretazischen Bildungen, und Héberts vier Glieder Cenoman (Le Mans), Turon (Tours), Senon (Sens), dänische Stufe haben sich Bürgerrecht in der Wissenschaft verschafft. Eine rätselhafte, mächtige Gesteinsschicht der Nordalpen, nach schweizerischem Vorgange als Flysch bekannt, scheint neueren Untersuchungen zufolge gleichfalls als ein oberes Kreideglied von sehr ungewöhnlicher Fazies angesehen werden zu müssen.

Welche Verdienste sich Ch. Lyell um das Tertiär durch die Einteilung in Eo-, Mio- und Pliocän erworben, steht uns in guter Erinnerung; was er für England begonnen, setzte J. Prestwich (1812—1896) fort. P. Partsch und E. Sueß verfeinerten unsere Kenntnis erheblich durch ihre Analyse der Miocänbildungen des Wiener Beckens, und gelang 1863, die teils aus dem Meere, teils auch aus Süßwasser entstandenen Molassebildungen der Schweiz

und des schwäbisch-bayerischen Alpenvorlandes ihrem relativen Alter nach scharf zu bestimmen. Die tertiäre Konchylienfauna wurde durch die trefflichen Arbeiten von F. Sandberger und H. C. Weinkauff so gründlich untersucht, daß sie brauchbare Leitfossilien für die einzelnen Tertiärhorizonte zu liefern vermochte. Vor allem aber hat die neue Gruppe des Oligocän, welche Beyrich in L. v. Buchs Todesjahre über das Eocän setzte, die Einteilung wesentlich erleichtert; F. Sandberger, Hébert, v. Koenen, E. Sueß u. a. haben mitgearbeitet, und v. Zittel hebt ausdrücklich hervor, daß der ungeheure Stoff, der seit etwa zwanzig Jahren durch das Aufsuchen tertiärer Versteinerungen in den verschiedensten Ländern des Erdenrunds angehäuft worden ist, noch in keiner Weise dazu veranlaßt habe, von der feststehenden Gliederung des Tertiärs nach vier Etagen abzugehen, wenn es gleich den Anschein gewinne, als solle die Ausdehnung dieser Systematik auf Amerika einige Abänderungen notwendig machen.

Als obere Abteilung des Phillipsschen Känozoikums kennt man seit C. A. v. Morlot (1820—1867), der im Jahre 1854 diese Nomenklatur in Vorschlag brachte, das Quartenär, wofür Bronn besser Quartär setzte. Dasselbe zerfällt in Diluvium — nach Buckland — oder Plistocän — nach Lyell — und in Alluvium. So lange alluviale Bildungen entstehen, so lange giebt es unter allen Umständen Menschen auf der Erde, so daß mithin die prähistorische Periode, deren nähere Betrachtung von unserer Aufgabe ausgeschlossen ist, mit einem überwiegenden Teile der Alluvialperiode sich zeitlich deckt. Seitdem es bei der großen Mehrzahl der Sachverständigen feststeht, daß jene gigantischen Fluten, die nach der Meinung der v. Buchschen Schule die großen Geschiebemassen vom Gebirge in die Ebene hinausgeflößt haben sollten, nur ganz ausnahmsweise wirklich stattgefunden haben können, ist das Wort Diluvium mit Glazialbildungen identisch geworden, und diese letzteren fallen der terrestrischen Morphologie zu, mit deren moderner Entwicklungsgeschichte sich die dritte und letzte Abteilung dieses Abschnittes zu beschäftigen hat.

Diese Aufgabe ist dem Historiker ungemein viel leichter, als sie es noch vor wenigen Jahren gewesen wäre, durch das große und



Eduard Sueß

gehaltvolle Werk („Morphologie der Erdoberfläche“, Stuttgart 1894) gemacht worden, welches A. Penck in Wien (geb. 1858) in F. Ratzels Sammlung geographischer Handbücher erscheinen ließ. Die sehr weit gezogenen Grenzen desselben umfassen ein gewaltiges Arbeitsfeld, welches sich auch auf die angrenzende Erdphysik erstreckt, und es müssen deshalb einige der von Penck behandelten Materien unserem etwas abweichenden Plane gemäß abgetrennt und dem nächstfolgenden Abschnitte zugewiesen werden. Wir sprechen zunächst von den Agentien, welche für die Erdrinde aktiv-formgebend im großen Stile hervorgetreten sind, und fassen dieselben als tektonische zusammen, indem wir ein in neuerer Zeit herrschend gewordenes Wort verwenden, das sich bei näherem Zusehen auf Senecas „Naturales Quaestiones“ zurückführen läßt. Hierher gehören die Lehren von den Umsetzungen der Meere und von der Gebirgsbildung, sowie die Theorien der Vulkane und Erderschütterungen; denn wenn es auch Erdbeben geben mag, deren Ursache nicht eigentlich eine interne Störung des Gleichgewichtes im Erdgezimmer ist, so trifft doch für die allermeisten Erscheinungen dieser Art zu, daß ein tektonischer Vorfall auslösend gewirkt hat. Auf tektonischem Wege hat das Antlitz der Erde — diesen bezeichnenden Titel hat E. Sueß seinem 1883 begonnenen und der Vollendung noch entgegenharrenden Werke über dynamische Geologie gegeben — im Großen und Ganzen die Züge erhalten, welche wir an ihm wahrzunehmen in der Lage sind, aber eine unermeßlich große Arbeit im Kleinen und Einzelnen ist von den zerstörenden Kräften geleistet worden, die wir seit Lyell, der ja eben die Worte des römischen Dichters „Gutta cavat lapidem, non vi, sed saepe cadendo“, zum Leitmotive seiner aktualistisch-geologischen Betrachtungsweise gemacht hatte, als Erosion und Denudation zusammenzufassen gewohnt wurden. Die Erosion tritt in den denkbarst verschiedenen Gestalten, ein wahrer Proteus, auf und beraubt das zuvor feste Felsgestein in dessen oberen Lagen und Schichten des Zusammenhanges, worauf die Denudation einsetzt und die losgelösten Bestandteile fortschafft. Irgendwo jedoch müssen dieselben bleiben, weil ein Substanzverlust unmöglich ist, und so steht den erosiven Prozessen an anderen Orten regelmäßig Akku-

mulation gegenüber. Dieses Wechselspiel genau zu verfolgen, ist der Zweck der geologischen Dynamik, und wir hinwiederum wollen aus der ungeheuer stoffreichen Litteratur, welche darüber angewachsen ist, einen kurzen Auszug geben, wie er sich am besten dieser nur die Hauptpunkte berücksichtigenden Darstellung einzufügen scheint.

Von den Ansichten, die man sich in der ersten Hälfte des Jahrhunderts über die säkulären Verschiebungen der Wasserlinie gebildet hatte, ist zur Genüge die Rede gewesen. Der älteren Auffassung, welche im Lande das Feste, im Wasser das Bewegliche erblickt hatte, trat die Autorität L. v. Buchs entgegen, gegen die lange Jahre keine andere so leicht aufzukommen imstande war. Und der Altmeister hielt, durch die Erfahrungen seiner skandinavischen Reise in einem ganz bestimmten Gedankenkreise festgebannt, unentwegt daran fest, daß die Meere absolut unveränderlich seien, und daß nur das Festland sich auf und ab bewege. Auch noch geraume Zeit nachher war dies die allgemeine Meinung, die namentlich O. Peschel in seinen schon erwähnten Essays über vergleichende Erdkunde mit aller Grazie seines Stiles befürwortete. Auch die durch geschickte Sammlung und Interpretation aller für eine Verlegung der Wasserlinie sprechenden Kennzeichen sehr nützlich gewordene Schrift von F. G. Hahn (geb. 1852) („Untersuchungen über das Aufsteigen und Sinken der Küsten“, Leipzig 1879) steht noch unter dem Einflusse der Lehren v. Buchs. Dem gegenüber vertrat in Wien Eduard Sueß in dem schon oben näher gekennzeichneten Werke über das Erdantlitz, dessen zweiter Band (Prag-Wien-Leipzig 1888) ausschließlich diese Fragen behandelt, die schon vor mehr denn hundert Jahren von schwedischen Gelehrten gehegte Ansicht, daß Meeresumsetzungen die eigentlich maßgebende Ursache seien. Immerhin riet Sueß, eine schon 1848 von R. Chambers (1802—1871) gegebene Anregung aufgreifend, zur Anwendung einer neutralen Terminologie; spreche man von einer positiven oder negativen Bewegung der Niveaulinie, so sei dasselbe erreicht, was man sonst durch die Worte „Sinken des Landes“ und „Aufsteigen der Küste“ ausdrücke, aber es sei der Art der Erklärung in keiner Weise vorgegriffen.

Man fehlte früher häufig darin, daß man die alten Strandlinien, deren Erforschung zumal auf norwegischem Gebiete folgeweise A. Bravais, R. Lehmann (geb. 1845), Th. Kjerulf, A. M. Hansen und Ch. Sandler erfolgreich betrieben haben, durchweg als gleichzeitig entstanden ansah; erst des Schweden G. de Geer glückliche Idee (1888), die wirklich zusammengehörigen Scheuermarken durch Isoanabasen zu verbinden und so klar darzustellen, bis zu welcher Höhe zu einer gewissen Zeit das Wasser wirklich reichte, hat auch diesen Teil der dynamischen Geologie von einem ihm noch anhaftenden Elemente der Willkürlichkeit befreit. Kennzeichnen wir kurz den aktuellen Stand dieser Theorien, so können wir sagen, daß Sueß' erster Satz, die eustatischen Meeresumlagerungen seien auf örtlichen Einbruch der Erdrinde und auf anderwärts erfolgende Akkumulation von Schuttmaterial zurückzuführen, fast allgemein gebilligt wird, wogegen der zweite seiner Sätze, dem zufolge auch langsame periodisch-rhythmische Bewegungen der irdischen Wassermassen im Spiele sein sollen, nicht gleichmäßig durchzudringen vermochte. R. Sieger hat sogar auf Grund umsichtiger Prüfung der skandinavischen Verhältnisse, die von L. P. Holmström und E. Bonsdorff teilweise mit Zuziehung der Wahrscheinlichkeitsrechnung aufgeklärt worden waren, die tektonisch erfolgende Hebung des schwedischen Schildes sehr wahrscheinlich gemacht, so daß also hier vielleicht eine Kombination zweier ganz verschiedenen Bewegungsformen anzunehmen wäre. Inwieweit die an den alten Telliamed des 18. Jahrhunderts erinnernde Austrocknungstheorie von H. Trautschold (geb. 1817), die offenbar ein stetiges Sinken aller Erdmeere annehmen muß, vielleicht subsidiär eine gewisse Berechtigung beanspruchen kann, bleibt der Entscheidung der Zukunft vorbehalten, ebenso wie die Lösung der schon in Abschnitt X gestreiften Streitfrage nach der wahren Ursache der merkwürdigen Erscheinung des angeblichen Tempels von Pozzuoli. D. A. Brauns (geb. 1827) möchte das Gebäude als eine frühere Piscine ansprechen, was freilich eine sehr radikale Lösung des Knotens bedeuten würde.

Durch die wechselnde Wasserhöhe wird stets das Meeresufer in der einen oder anderen Weise beeinflußt, und es liegt deshalb

nahe, jetzt gleich von den neueren Untersuchungen über Küstenbildung zu sprechen. F. v. Richthofen in seinem „Führer", A. Hettner (geb. 1859), Hahn, Philippson, Penck u. a. haben sich bemüht, möglichst umfassende genetische Tafeln der Küstenformen aufzustellen, so daß man also aus der Namengebung sofort auf die Kräfte schließen kann, welche bei der Herausbildung eben dieser Art von Küste in Wirksamkeit gewesen sind. Die zerstörende Gewalt der Brandungswoge untersuchten A. C. Ramsay (1814—1891) und J. Geikie, aber erst v. Richthofens chinesische Reise stellte die — allerdings schon von Ramsay geahnte — gigantische Energie dieser in geologischer Vorzeit jedenfalls noch großartiger aufgetretenen Naturkraft ins richtige Licht. Darnach konnten, falls nur die Küste eine positive Bewegung der Grenzlinie von Wasser und Land aufwies, gewaltige Gebirgsmassen durch sogenannte Abrasion abgetragen und fortgeschwemmt werden. Aber auch dann, wenn nicht gleich tiefe Eingriffe in das Land gemacht werden, ist gerade eine steile Felsküste der Gefahr steter Zerstörung durch die mit Felsblöcken beladenen Wellen, die nach Geikie ein förmliches Bombardement unterhalten, ausgesetzt. Zeuge dessen ist unter anderen die in ihrer Isolierung ein treffliches Beispiel abgebende Felseninsel Helgoland, deren geologische Geschichte u. a. 1848 K. M. W. Wibel, 1883 K. A. H. Sjoegren (1822—1893) und E. Tittel (1894) geschrieben haben; dieselbe wird, einem niemals ganz rastenden Substanzverluste ausgesetzt, ununterbrochen kleiner, wiewohl es — dies wies schon 1883 O. Schneider (geb. 1841) nach, und anderweite Bestätigungen folgten — nicht richtig ist, dem Eilande eine dereinst sehr viel größere Ausdehnung zuzuschreiben. Der ausspülenden, minder widerstandsfähiges Gestein beseitigenden Aktion der Meereswellen wollten auch verschiedene Fachmänner, so G. vom Rath (1830—1888) und J. Rein, die Bildung jener tief ins Inland einschneidenden Buchten aufgebürdet wissen, welche man als Fjorde aus Norwegen, Grönland und Südamerika kennt, deren geographische Verbreitung zuerst Peschel an der Hand genauer Karten zu ermitteln trachtete, und über deren äußere, morphographische Eigentümlichkeiten F. Ratzel und P. Dinse Licht verbreitet haben. Neuerdings allerdings scheint die von Dana

angedeutete Hypothese, daß die Fjorde von Hause aus gewöhnliche, später erst ins Meer hinabgetauchte Thäler seien, durch Deyen und Eduard Richter (geb. 1848) eine so feste Begründung erhalten zu haben, daß die verschiedenen Erosionstheorien, mochten sie nun dem fließenden Wasser oder — nach Helland — dem bewegten Eise die Hauptrolle zuteilen, nur noch sekundär ihren Einfluß geltend machen können.

Besteht das Küstengelände nicht aus festem Gesteine, sondern aus weicherer Masse, und steigt es nicht steil aus dem Meere auf, sondern als Flachküste, so wird die auch jetzt nicht fehlende Zerstörungsarbeit einigermaßen paralysiert durch das Bestreben des in das Land eingreifenden Wassers, sich der mitgeführten Festkörper durch Aufschüttung wieder zu entledigen. Neben den Wellen streifen fortwährend auch die von O. Krümmel (geb. 1854) hierauf untersuchten Gezeitenströmungen Festlandteile ab, und wenn gelegentlich unter dem Einflusse meteorologischer Gleichgewichtsstörungen größeren Betrages sogenannte Sturmfluten einsetzen, ist fast immer ausgiebiger Landverlust die Folge. Für Ostfriesland hat G. Eilker (geb. 1842), für die nordfriesische Küste und den ihr vorgelagerten Inselkranz E. Traeger, für die Niederlande A. Blink das Wesen solcher Katastrophen einläßlich geschildert. Geographischerseits hat man die im Laufe langer Zeiträume vor sich gegangenen Küstenveränderungen häufig zum Zielpunkte monographischer Erörterung gemacht; erwähnt seien nur Th. Fischers (geb. 1846) Studien über die südfranzösische Lagunenküste und diejenigen von R. Credner (geb. 1850) über die vorpommerische Boddenküste. K. Ackermanns „Beiträge zur physischen Geographie der Ostsee" (Hamburg 1885) enthalten einen Schatz einschlägiger Beobachtungen. Als erhaltenden Faktor sehen wir das Meer wirken, wenn es die von J. G. Forchhammer (1794—1865) und Senft (Abschnitt X) erforschten Marschbildungen veranlaßt, wenn es die Strandwälle erbaut, die nach E. Pechuel-Loesche nirgendwo so großartig wie an der südwestafrikanischen Loanda-Küste zu finden sind, und wenn es die längs aller sandigen Flachküsten zu findenden Dünenwälle auftürmt. Das Wandern der Dünen, zumal im klassischen Lande — Haffküste der Ostsee — haben uns L. Sohncke,

A. Bezzenberger, P. Lehmann, K. Keilhack, P. Schwahn, A. Zweck unter den verschiedensten Gesichtspunkten geschildert, und die neueste Zeit hat uns mit zwei bedeutenden Werken darüber beschenkt. Das zuerst russisch erschienene von Sokolow hat (Berlin 1894) A. Arzruni in unsere Sprache übertragen, und ganz neuestens erhielt, zugleich mit der zuerst in Betracht kommenden Ingenieurwissenschaft, auch unsere Disziplin einen trefflichen Handweiser in Gerhardts „Handbuchs des Dünenbaus“ (Berlin 1900). Die Charakteristik der Dünenlandschaft bildet einen der Glanzpunkte in Pencks „Morphologie“, und ebendort wird auch, teilweise im Anschlusse an die gediegenen Vorarbeiten des Amerikaners Shaler, die Mitwirkung der Organismen bei der Küstenbildung umsichtig gewürdigt. Den im Küstensande gebildeten Rippel- oder Kräuselungsmarken haben G. H. Darwin, F. A. Forel (geb. 1841) und Sterrey Hunt Beachtung geschenkt, und E. Bertololys alle früheren Angaben kritisch verarbeitende Schrift (1900) über diese Bildungen läßt uns ersehen, daß hier ein in jeder Hinsicht merkwürdiges morphologisches Problem vorliegt. Wenn an der Meeresküste ein Fluß mündet, der nicht durch einen tiefen Binnenlandeinschnitt, ein Ästuarium — Elbe, St. Lorenzo, La Plata —, seinen Weg nimmt, sondern durch Detritusanhäufung sich ein Vorland, ein Delta — Rhein, Nil, Orinoko, Mississippi —, geschaffen hat, welches gegen das Meer zu stetig fortschreitet, so wird die Morphologie vor ein selbständiges, verwickeltes Problem gestellt. Peschel, E. Reclus und R. Credner erprobten an demselben ihre Kraft, und des Letztgenannten Nachweis, daß Deltabildung und negative Strandverschiebung fast immer zusammengehören, gestattete einen tieferen Einblick in die Verhältnisse, unter welchen sich solche, die Gewähr längerer Dauer in sich tragende Schlammanhäufung bethätigt. Die Modalitäten der Bildung von Seehäfen wurden von Krümmel, v. Richthofen und Shaler unter dem genetischen Gesichtspunkte studiert.

Die Geologie konnte auch nicht umhin, die verschiedenen Arten von Inseln nach bestimmten Rubriken zu klassifizieren; Versuche, dies zu erreichen, gehen bis in das 17. Jahrhundert zurück. Der

von W. Wallace (geb. 1832) und Peschel festgehaltene Gedanke, die Fauna und Flora der Inseln zum leitenden Kennzeichen zu wählen, gewährte zu wenig Sicherheit, und deshalb sehen wir sämtliche späteren genetischen Inselsysteme von rein morphologischen Kriterien beherrscht. Solche Systeme stellten auf A. Kirchhoff, v. Richthofen, Hahn („Inselstudien“, Leipzig 1883), Supan, Penck; gemeinsam ist denselben, bei mancher sonstigen Verschiedenheit, der Umstand, daß Festlandtrümmer den niemals kontinental gewesenen Hochseeinseln gegenübergestellt werden, welch letztere selbst wieder vulkanischen Ursprunges oder aber Korallenbauten sein können. Die ältere Geschichte der Koralleninseln fand in Abschnitt X ihren Platz. Neuerdings wurde deren Theorie, die durch R. Langenbeck („Die Theorien über die Entstehung der Korallenriffe und Koralleninseln und ihre Bedeutung für geophysische Fragen“, Leipzig 1890) und Dana („Coral Islands“, New York 1890) in systematisches Gewand gekleidet wurde, nach verschiedenen Seiten hin gefördert; man machte sich, wobei besonders A. E. Ortmann und A. Kraemer mit gutem Beispiele vorangingen, mit den natürlichen Existenzbedingungen der Korallenpolypen genauer bekannt, und man verglich unter sich kritisch die Korallenbildungen verschiedener Erdgegenden, die allerdings, soweit rezente Ansiedlungen in Betracht kommen, durchaus der tropischen oder doch mindestens einer subtropischen Zone angehören. Längere Zeit schien, nachdem Rein, K. Semper (1832—1893), Th. Studer (geb. 1848), A. Agassiz (geb. 1835) und der treffliche Ozeanograph Sir John Murray ihre autoptischen Bedenken gegen die uns bekannte Subsidenztheorie von Ch. Darwin geltend gemacht hatten, deren Ansehen schwer erschüttert zu sein, und auch die umfassenden Erfahrungen J. Walthers in der Palkstraße und an den Gestaden der Sinaihalbinsel nötigten, wie man glauben konnte, zu mannigfachen Abänderungen. Neuerdings jedoch hat, wie Langenbecks Revision der modernen Anschauungen wahrnehmen läßt, Darwin einen guten Teil der anscheinend verloren gegangenen Geltung wieder erlangt, und vor allem lassen sich die von W. J. Sollas (geb. 1849) an erstorbenen Riffen angestellten Bohrungen, welche eine unerwartete Mächtig-

keit der Korallenfelsen ergaben, besser mit der älteren Lehre als mit der Elevationshypothese von Murray und mit den Anschwemmungshypothesen von A. Agassiz und R. J. Guppy vereinigen, die für gewisse Fälle, wie sie z. B. die Saumriffe Floridas darbieten, aber doch auch recht wohl zutreffen können. Für den Bereich der Südsee ist die Krönung vulkanischer Aufschüttungen durch Korallenbauten von K. G. Gerland (Abschnitt XXI) wenigstens sehr wahrscheinlich gemacht worden.

Der Vulkanismus soll auch die erste Etappe unserer Darlegungen bilden, wenn wir uns nunmehr von den dynamischen Wechselbeziehungen zwischen Meer und Festland weg ausschließlich dem letzteren zuwenden. Mit welcher Zähigkeit noch um die Mitte des Jahrhunderts die stellenweise doch eine gewisse Eigenwilligkeit bekundenden Lehrmeinungen v. Buchs festgehalten wurden, davon haben wir uns in Abschnitt X überzeugt, so daß also die gegenteiligen, mit der Natur besser übereinstimmenden Ansichten von Prévost, Fr. Hofmann und P. Scrope nur sehr allmählich durchzudringen vermochten. Doch vollzog sich dieser Prozeß immerhin, ungefähr in dem Verhältnis, in welchem überhaupt Lyells aktualistische Theorie, die ja trefflich zu Scropes Lehre von der Aufschüttung der Kraterberge paßte, Terrain gewann. Die ganz erneute, im Jahre 1862 besorgte Ausgabe des Werkes von Scrope, dessen erste Auflage bereits 1825 erschienen war, hatte kaum mehr den bereits vollendeten Sieg vorzubereiten; aber als systematisches Lehrbuch steht dasselbe („Considerations on Volcanos", London 1862) noch jetzt in sehr hohem Ansehen. G. A. v. Kloeden (1814—1885) hat dasselbe (Berlin 1872) deutsch bearbeitet. Die geläuterte Doktrin konnte sich auch, da ja unser Wissen von der Erde stets umfangreicher ward, auf zahlreiche neue Erfahrungsdaten stützen. G. Hartung bereiste 1862 die nordwestafrikanischen Archipele und brachte von dort wertvolle Aufschlüsse über die vermutlich durch Explosion entstandenen vulkanischen Hohlräume (Calderas) mit; F. Junghuhn erforschte genau (Abschnitt XXI) während der fünfziger und sechziger Jahre die Feuerberge Javas: durch Sartorius v. Waltershausen wurde (Abschnitt X) nicht nur das auch von Bunsen, F. Zirkel und G. G. Winkler

(1820) durchforschte Island, sondern auch der Ätna genauer bekannt, dessen durch A. K. P. F. v. Lasaulx (1839—1886) herausgegebene Monographie über jenen Berg (Leipzig 1880) eine vorbildliche Meisterleistung darstellt. Palmieri (Abschnitt VI) überwachte von seinem Vesuv-Observatorium aus Jahrzehnte lang mit treuer Fürsorge alle Phasen der Ausbrüche dieses Aufschüttungskegels, und nächst ihm ist H. J. Johnston-Lavis als spezieller Vulkangeologe zu nennen, ebenso wie die beiden Gemmelaro (Carlo, 1787 bis 1866; Giorgio, geb. 1832?), O. Silvestri (1835—1890) und A. Riccò (Abschnitt XIV) als Ätna-Biographen anzusprechen sind. Die Liparischen Inseln, vorab Stromboli, wurden in vulkanologischer Hinsicht einer trefflichen Beschreibung von A. Bergeat (1899) gewürdigt. Santorin endlich fand in F. A. Fouqué (geb. 1828), Jul. Schmidt, K. v. Fritsch, J. W. Reiß (Abschnitt XXII) und A. Stübel die Männer, die dieser merkwürdigen Vulkanruine, den antiken Inseln Thera und Therasia, ihre Aufmerksamkeit zuwandten. Fügen wir dann noch hinzu, daß Islands Vulkanwelt uns neuerdings von Th. Thoroddsen und Keilhack gründlichst erschlossen worden ist, so können wir von den aktiven Vulkanen absehen, bemerken jedoch, daß auch die erloschenen durch v. Leonhard, v. Gümbel, O. und E. Fraas, F. Sandberger, J. A. Streng, K. Zoeppritz, A. Stelzner, E. Proft, v. Dechen, J. W. Judd (geb. 1840), J. Geikie u. a. — wir nennen nur einige bekanntere Namen — allseitig studiert worden sind. Von den feuerspeienden Bergen Asiens sind diejenigen Kamtschatkas durch C. Diener, diejenigen des japanischen Inselreiches durch E. Naumann und die beiden Milne, diejenigen der Philippinen durch Semper beschrieben worden. Die reiche Litteratur über den Hinterindischen Archipel, natürlich großenteils in niederländischer Sprache geschrieben, zu welcher in allerneuester Zeit noch F. Rinne durch seine Angaben über Celebes einen dankenswerten Beitrag geliefert hat, kann hier kaum auszugsweise analysiert werden. Afrika, früher nur wegen seines Pico de Teyde auf den Canarien genannt, den neuerdings O. Simony (geb. 1852) und A. Rothpletz behufs verschiedenartiger geophysikalischer und geologischer Beobachtungen bestiegen haben, muß seit ein paar Jahren auch von der aktiven

Vulkangeographie berücksichtigt werden; Graf S. Teleki (geb. 1845) entdeckte einen noch thätigen Feuerberg im Jahre 1888 auf der Reise, die er zusammen mit L. v. Hoehnel (geb. 1857) im Gebiete des Rudolf- und Stefanie-Sees ausführte, und 1894 folgte eine entsprechende Entdeckung am äußersten südwestlichen Ende des großen zentralafrikanischen Grabens, in der Landschaft Ruanda; diesmal war es Graf G. A. Goetzen (geb. 1866), dem der wichtige Fund gelang. Die Festlandmasse Australiens entbehrt auch nach den allerneuesten Landesdurchforschungen gänzlich einer aktiven Äußerung subterraner Kräfte, aber um so reichlicher ist mit solchen Bethätigungen die ozeanische Inselwelt ausgerüstet, welcher auch Neu-Seeland zugezählt werden muß. Die uns aus dem vorigen Abschnitte bekannten Förderer der Geologie dieser Erdstriche haben sich speziell auch um die Ergründung der vulkanischen Verhältnisse verdient gemacht. Hawaii mit seinen Riesenkegeln und mit seinem merkwürdigen Feuersee Kilauea, den neuerdings W. Meyer und A. Marcuse genau beschrieben, war das Gebiet, auf dem sich Dana zum großen Vulkanologen ausbildete. Südamerikas thätige und erloschene Feuerberge sind von R. A. Philippi in Santiago und P. Güßfeldt (Abschnitt XXI), diejenigen Zentralamerikas sind von den uns schon aus Abschnitt XXI in guter Erinnerung stehenden Forschungsreisenden und seit einer Reihe von Jahren mit besonderem Eifer von K. Sapper, dem zweifellos besten Kenner der Republik Guatemala, in Monographien so eingehend behandelt worden, daß gerade hier ein wesentlicher Fortschritt über A. v. Humboldts Standpunkt hinausgeführt hat. Mexiko dankt es Pieschel, J. Felix und M. Lenk, daß seine durch Größe und Formenschönheit ausgezeichneten Vulkane auch wissenschaftlich besser bekannt geworden sind. Das nordwestliche Felsen- und Kaskadengebirge Nordamerikas besitzt, von ganz ungeheuren Lavafeldern abgesehen, auch noch viele Anzeichen rührigen vulkanischen Lebens, welchen die Staatsgeologen der Union, F. V. Hayden, C. E. Dutton (geb. 1841), J. C. Russel u. a., sorgfältig nachgegangen sind. Die zur damaligen Zeit genauesten Angaben über die geographische Verteilung der Vulkane enthielt die sehr inhaltreiche Schrift von K. W. Fuchs (1837—1886) „Vulkane und Erdbeben“ (Leipzig 1875).

Die theoretischen Anschauungen über das Wesen der vulkanischen Phänomene haben sich seit v. Buchs Ableben vielfach geändert, obwohl, wie wir schon andeuteten, seine zeitweise ganz verworfenen „Erhebungskrater" durch die, zumal in Nordamerika, zahlreich nachgewiesenen Lakkolithen („Höhlensteine") eine gewisse Ehrenrettung gefunden haben. Diese durch Intrusivmassen bewirkten Schichtauftreibungen, von denen sich die Batholithen („Tiefensteine") mehr nur durch den minder energischen Auftrieb des Magmas unterscheiden, wurden zuerst von K. G. Gilbert (geb. 1843) und dann von C. Ehrlich, R. Peale und W. Croß untersucht, und E. Sueß sicherte ihnen ihre Stelle im Systeme, indem er darauf hinwies, daß die Natur aus den Lakkolithen durch Bildung einer Denudationsreihe nicht selten homogene Vulkane mache. Der Gegensatz zwischen diesen und den Stratovulkanen ist in den neueren vulkanistischen Gesamtdarstellungen, wie solche von Ch. Vélain (1884), Judd (1888), Dana (1890), H. Reusch (1893) geliefert worden sind, größtenteils anerkannt worden, wenngleich auch gegenteilige Stimmen laut wurden, wie denn auch die Lakkolithenbildung gelegentlich, so z. B. von dem durch seinen „Beitrag zur Physik der Eruptionen und Eruptivgesteine" (Wien 1877), sowie durch seine Spezialschrift über die Euganeen (Wien 1877) vorteilhaft bekannt gewordenen Wiener Geologen E. Reyer (geb. 1849) ganz anders aufgefaßt wurde. Die Vulkantheorie der Jungneptunisten O. Volger und F. Mohr, die besonders die mechanische Wärmetheorie als Eideshelferin dafür ins Gefecht führten, daß unterirdische Einbrüche furchtbare Hitzegrade zur Folge haben müßten, konnte schon gegenüber den einfachen arithmetischen Einwänden von F. Pfaff („Die vulkanischen Erscheinungen", München 1871) auf allgemeinere Anerkennung nicht hoffen. Dagegen verdient R. Mallets (1810—1881) Ansicht, daß erst durch große tektonische Umbildungen innerhalb der Erdkruste das vorher noch nicht vorhanden gewesene Magma gebildet und dann auch gleich zum Ausfließen als Lava veranlaßt werde, zwar nicht für die Gegenwart, aber doch für die geologische Vergangenheit mit ihren zahllosen Quellkuppen vollste Beachtung, und daran ändern die teilweise gewiß geglückten

Widerlegungsversuche von J. Roth und P. Scrope nichts, wie denn dem letzteren Mallet selbst wieder (1874) mit Entschiedenheit entgegengetreten ist. Den modernen Vulkanismus zu verstehen, muß man, da F. Loewl (1887) die absolute Unmöglichkeit der direkten Kommunikation zwischen den Kratern und dem vermeintlichen Magmameere des Erdinneren dargethan hat, zur Annahme von isolierten Essen seine Zuflucht nehmen, wie sie schon Seneca vermutet, W. Hopkins (1793—1866) des näheren zu bestimmen gesucht und endlich Dutton als „Maculae" für eine unabweisliche Notwendigkeit erklärt hat.

Von den neueren theoretischen Untersuchungen, zu denen namentlich auch Penck, Sollas und J. Prestwich (1812—1896) durch das Studium des Aufschäumens gashaltiger, plötzlich von darauf lastenden Drucke befreiter Füssigkeiten dankenswerte Beiträge lieferten, nehmen zwei ein sehr hohes Interesse in Anspruch. Durch Jahre hindurch fortgesetztes Begehen eines in dieser Beziehung vordem wenig genannten Gebirges konnte W. v. Branco 1894 in der Rauhen Alb Schwabens nicht weniger denn 125 Maare oder Explosionstrichter nachweisen, wie sie in der Vordereifel durch Steininger und v. Dechen, durch K. F. Naumann auch in der Auvergne längst erforscht worden waren, und eine tiefgehende Analyse des Bildungsprozesses verhalf dem erstgenannten Geologen zu der Überzeugung, daß präformierte Spalten keineswegs eine Vorbedingung für vulkanische Eruptionen seien. Mannigfach berührt sich diese Auffassung mit derjenigen A. Stübels („Die Vulkanberge von Ecuador", Berlin 1897). Auch hier werden die Örtlichkeiten, aus denen die emporgepreßte Lava stammt, als peripherische Herde innerhalb der gepanzerten, alten Erdkruste definiert, aber als treibende Ursache betrachtet Stübel nicht etwa mit Ph. Carl (Abschnitt XV) eine durch den Leidenfrostschen Effekt bedingte Explosion, sondern die im nächsten Abschnitte zu besprechende Thatsache, daß mit dem Abkühlungsprozesse geschmolzener Massen eine Raumausdehnung parallel geht. Ziemlich übereinstimmend erblickt man in den Fumarolen, Solfataren, Mofetten, Geysirs und Schlammvulkanen, welch letztere v. Gümbel 1879 zuerst in ihrer Bedeutung klargestellt

und als teilweise unvulkanische Bildungen erklärt hat, die letzten Überreste dereinstiger vulkanischer Thätigkeit. Sehr belehrend sind nach dieser Seite hin H. Bückings im Jahre 1888 auf Celebes in einem weiten Distrikte erlöschender Aktion gemachte Erfahrungen.

Den für die erste Hälfte des Jahrhunderts charakteristischen intimen Zusammenhang zwischen Vulkanen und Erdbeben hat die Folgezeit nicht mehr anerkannt; nur in einzelnen litterarischen Erscheinungen wird der älteren Humboldt-Buchschen Lehre, daß die Vulkane die Sicherheitsventile der Erde seien und durch ihre Verstopfung Erderschütterung hervorriefen, noch das Wort geredet. Der eifrigste Verfechter der Identitätstheorie war und ist der bekannte Rudolf Falb (geb. 1838), der geistige Nachfolger Perreys (Abschnitt X); ihm zufolge wogt unterhalb einer ziemlich dünnen Gesteinsschale des Erdballes ein Ozean feurig-flüssiger Masse, der durch die Himmelskörper zu gezeitenartigen Bewegungen gezwungen wird und dann, je nach Umständen, den Austritt durch Vulkanspalten erzwingt oder aber das Felsgerüste erschüttert. So wenig geleugnet werden soll, daß Falbs frühere Publikationen, zumal die „Grundzüge zu einer Theorie der Erdbeben und Vulkanausbrüche“ (Graz 1880), den Eindruck ernsten Strebens nach der Wahrheit erwecken, ebensowenig ist in Abrede zu stellen, daß dieser Autor, indem er weite Volkskreise gewissermaßen zum Richter in wissenschaftlichen Streitigkeiten aufrief, den Weg exakter Wissenschaft, wie wir dies insbesondere noch im meteorologischen Abschnitte sehen werden, ganz und gar verlassen hat. Dem gegenüber darf freudig konstatiert werden, daß während der letzten Jahrzehnte sehr viel geschehen ist, um eine rationelle Erdbebenkunde oder Seismologie ins Leben zu rufen, und das Handbuch, welches R. Hoernes in Graz dieser jungen Disziplin (1893) gewidmet hat, zeigt uns recht deutlich, daß man seit dem Erscheinen des eine ähnliche Tendenz verfolgenden Werkes von Mallet (1857) doch um ein tüchtiges Stück vorwärts gekommen ist; auch de Rossis (Abschnitt XV) geistvolle „Meteorologia endogena“ (Mailand 1879—1882) verdient hier ehrende Erwähnung, obschon das dieselbe durchziehende und auch in der Titelwahl sich aussprechende Bestreben, Vorgänge des Luftkreises zu solchen unterhalb des Erdbodens in Kausal-

beziehung zu setzen, zu manchen Bedenken Anlaß geben mußte. Die Seismologie, die kaum irgendwo so eifrig gepflegt wird, wie in dem so häufig verheerten Japan, betrachtete es und betrachtet es noch heute als ihre Hauptaufgabe, in den gesicherten Besitz recht vieler empirischen Daten zu gelangen. Dazu dienen die fleißigen Erdbebenkataloge von H. Berghaus, v. Hoff (1841), Perrey (1841—1874), Mallet (1885), J. W. Muschketow-Orlow (1894), sowie die fortlaufenden Berichte über derartige Katastrophen, wie man sie K. W. Fuchs und späterhin E. Rudolph zu danken hatte. Sodann gab man sich viele Mühe, monographisch gewisse Einzelvorkommnisse von allgemeiner Tragweite recht genau bis ins Detail zu beschreiben; die Erdbeben von Belluno (1873), Phokis (1870—1874), Agram (1880), Großgerau (Ende der siebziger und Anfang der achtziger Jahre), Nizza (1887), sowie die häufigen und zum Teile unheilvollen Erdstöße an der neapolitanischen Küste (Casamicciola) und endlich die in neuester Zeit erfolgte Herausbildung Laibachs als eines wahren Erdbebenzentrums gaben nur allzu reichen Stoff für solche Studien. So haben sich mit dem Agramer Vorfalle, um nur von ihm zu sprechen, folgeweise M. Hantken v. Prutnik (1827—1893), G. Pilar, F. Waehner eingehend beschäftigt, und G. Pilars „Grundzüge der Abyssodynamik“ (Agram 1881) sind hauptsächlich zu dem Zwecke abgefaßt, um die damals gewonnenen Gesichtspunkte für eine generelle, freilich wohl allzu vulkanistisch angelegte Erdbebentheorie zu verwerten. Über alpine Erdbeben lieferten E. und F. Sueß, dieser des ersteren Sohn, sowie H. Hoefer (Abschnitt XXI) wertvolle Untersuchungen. Der sächsischen Vorkommnisse nahm sich H. Credner, der bayerischen W. v. Gümbel an; in den rheinischen Gebirgen nebst Vorland ging J. Noeggeraths Erbe auf v. Lasaulx und v. Seebach über; die Sudetenländer wurden von L. H. Jeitteles (1830—1883), R. Leonhard, G. Dathe u. a. seismisch erforscht: für die rheinische Ebene zwischen Schwarzwald und Vogesen sind die Arbeiten von R. Langenbeck, für die Schweiz diejenigen von A. Heim, J. Früh und A. Tarnuzzer maßgebend. Ungemein viel Neues wurde, nachdem im Spätherbst 1891 das zentrale Nippon von einem furchtbaren Verhängnis betroffen worden war, von J. Milne,

Sekiya, Omori und besonders Kotô in den „Transactions of the Seismological Society of Japan“ zu Tage gefördert. Den sehr zweckdienlichen Weg, eigene Erdbebenkommissionen zur steten Kontrolle der Bodenstörungen einzusetzen, schlug Württemberg 1887 ein, und die Art, wie von H. v. Eck (geb. 1837), E. Hammer (geb. 1858) und Aug. Schmidt die Organisierung und Ausnützung von Korrespondenznachrichten in die Wege geleitet wurde, durfte als auch für andere Länder vorbildlich anerkannt werden. Am 1. März 1899 bewilligte der Deutsche Reichstag eine namhafte Summe für den Bau eines seismischen Zentralinstitutes in Straßburg i. E.; dasselbe wird von G. Gerland und, unter ihm, von E. Rudolph geleitet, nachdem der zuerst in Aussicht genommene Observator R. Ehlert 1899 als Opfer einer allzukühnen Winterreise in die Hochalpen gefallen war. Diese Anstalt hat mit dem von J. Milne geleiteten ständigen „Seismological Committee“ der britischen Naturforscherversammlung den Zweck gemein, sozusagen die Gesamterde durch einen seismischen Polizeidienst zu überwachen, stellt sich aber daneben noch allgemeinere, rein theoretische Aufgaben. Das Jahr 1901 wird die neue, trefflich ausgerüstete Erdbebenwarte in Thätigkeit sehen.

Die seismische Instrumentenkunde ist, wie Ehlerts Preisschrift vom Jahre 1898 überblicken läßt, geradezu eine selbständige Disziplin geworden. Den älteren Apparaten von Kreil, Mallet, v. Lasaulx, J. Davison, De Rossi, Conte Malvasia, Palmieri, R. Lepsius, O. Lang u. a. sind feine Selbstregistratoren nachgefolgt, welche Ewing, Milne, J. E. Gray, G. Wagner, M. G. Agamemnone u. a. konstruiert haben; von hohem Werte sind ferner die den Diagrammen solcher automatischen Kurvenzeichner nachgebildeten Modelle des Japaners Sekiya, die uns einen Begriff davon geben, in welch stürmischer Weise der Boden bei solchen Zuckungen hin und her geworfen wird. Weitaus die größte Zukunft dürfte jedoch dem Hengler-Zoellnerschen Horizontalpendel (Abschnitt VI) innewohnen, dem E. L. A. v. Rebeur-Paschwitz (1861—1895) eine neue, höchst glückliche Gestalt gegeben hat; die Straßburger Stelle verwendet das Instrument in der Form des von Ehlert angegebenen Triplexpendels, und das in

Göttingen begründete Observatorium für Geophysik bedient sich einer von seinem Leiter E. Wiechert vorgeschlagenen Abänderung. Statt der bifilaren Aufhängung empfiehlt Aug. Schmidt (1900) eine trifilare zu Messungen der Schwere und der — stetigen oder plötzlichen — Modifikationen des Schwerezustandes. In Hohenheim bei Stuttgart hat K. Mack eine Beobachtungsstation gegründet, auf welcher die verschiedenen Modelle kritischer Prüfung unterstellt werden. Den seltensten Fleiß verwandte v. Rebeur-Paschwitz darauf, mit Hilfe des uns aus Abschnitt III erinnerlichen analytischen Werkzeuges der trigonometrischen Reihen aus den von dem Zeichenstifte des Horizontalpendels dargestellten Kurven die verschiedenen Elemente zu sondern, welche bei der Versetzung des Untergrundes in Schwingungen irgendwie mitwirken, so daß sogar die periodischen Einflüsse der wechselnden Anziehung von Sonne und Mond erkannt werden konnten.

Haben so die Beobachtungen brauchbare Daten ergeben, so geht der Seismologe daran, ein graphisches Bild des Vorganges herzustellen. Vielleicht von einer zufälligen Bemerkung v. Buchs angeregt, hatte P. N. C. Egen (1793—1849) schon 1828 den Verlauf einer Erderschütterung auf der Karte verfolgt, und Mallet, v. Seebach, v. Lasaulx, Hopkins zeigten, wie man, den stärkst erschütterten Punkt der Oberfläche, das Epizentrum, festhaltend, durch Verzeichnung der Homoseisten — Kurven synchronen Erschütterungsbeginnes — und Isoseisten — Kurven gleich starker Erschütterung — sowohl die Zentrumstiefe, wie auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Stoßwelle angenähert ermitteln könne; die Isoseisten zu konstruieren, erweist sich die von Forel in Aufnahme gebrachte Skale der seismischen Stoßgrade als nützlich. Den mathematischen Teil des Problemes förderten Aug. Schmidt (1890), G. Maas (1895), v. Koeveslígethy (1895); neuerdings gewähren auch des polnischen Mathematikers M. P. Rudzki Studien über Wellenfortleitung in Gesteinen eine aussichtsreiche Perspektive. Des ungarischen Geophysikers Resultate sind besonders insofern interessant, als aus ihnen folgen würde, daß Erdbebenwirkungen, deren Zentralgebiet — von Zentralpunkten kann kaum

die Rede sein — sehr tief liegt, gar nicht zur Oberfläche heraufreichen, was allerdings mit Gerlands Vermutung, der eigentliche Sitz der Erdstöße liege Hunderte und Tausende von Kilometern unter dem Boden, nicht vereinbar wäre. Wichtig wurden experimentelle Untersuchungen über die Fortleitung von Explosionswellen in verschiedenen Gesteinsarten, wie solche Mallet, F. Pfaff, Fouqué und M. Lévy, Abbot und A. F. Noguès angestellt haben. So verfügt denn die neuere Wissenschaft bereits über eine größere Anzahl von Erdbebenbiographien, auf welche eine neue, mit den älteren Doktrinen zumeist brechende Theorie begründet werden durfte; eben jene, die uns Hoernes, H. Reusch und Toula systematisch vorführen.

Danach giebt es vulkanische Beben, tektonische Beben oder Dislokationsbeben und Einsturzbeben. Die ersteren kommen, wie uns E. Sueß und Mercalli glaubhaft machen, in vulkanreichen Ländern häufig vor, aber trotzdem sind den japanischen Forschern zufolge gerade in jenem so reich mit Feuerbergen gesegneten Lande die durch innere Lagenverschiebung entstehenden Katastrophen vorwiegend nachzuweisen. Sie kommen gewöhnlich in Frage, wenn von habituellen Schüttergebieten und Stoßlinien, von häufig sich wiederholenden Erdbebenschwärmen und von größeren morphologischen Umwälzungen die Rede ist, wie denn Kotô für 1891 eine förmliche Umfurchung des Bodens mit beträchtlichen Niveauverschiebungen der Bruchränder aufzuzeigen in der Lage war. Daß durch Auslaugung und Beseitigung leicht zerstörbarer Massen — Salz, Gips, Anhydrid u. s. w. — unterirdische Hohlräume entstehen und nachher zusammenbrechen können, leuchtet von selbst ein; Karstländer leiden infolge dessen häufig an Erdstößen, denen aber natürlich meist nur eine kurze Dauer zuzusprechen ist, und für das Wallis, wo sich Erschütterungen oft einstellen, haben O. Volgers (1822—1897) gründliche, wenngleich von Einseitigkeit nicht freie „Untersuchungen über das Phänomen der Erdbeben in der Schweiz“ (Gotha 1857—1858) die Wahrscheinlichkeit eines solchen Zusammenhanges sehr wahrscheinlich gemacht. Hoernes möchte als besondere, vierte Kategorie die der Relais- oder Übertragungsbeben adoptiert sehen, die sich etwa der als

Dünung bekannten Form der Meereswellen zur Seite stellen ließe. Die mikroseismischen Erzitterungen („Tremors" der Engländer), die J. Milne mit seinem automatischen Pulsationsmesser, v. Rebeur-Paschwitz und J. Kortazzi mit dem Horizontalpendel zu verfolgen gelehrt haben, faßt man nicht als eine rein seismische, sondern als eine zum Teile auch meteorologische Erscheinung auf; G. H. Darwins Rechnungen belehrten uns, daß Luftdruckveränderungen meßbare Niveauungleichheiten des Festbodens in ihrem Gefolge haben.

Auch auf hoher See werden seismische Gleichgewichtsstörungen nicht selten beobachtet, und E. Rudolphs umsichtige Nachforschungen (1887 und 1898) haben uns mit einem reichen Materiale bezüglich der Seebeben und submarinen Vulkanausbrüche vertraut gemacht. Die neuere Seismologie unterscheidet jedoch von den eigentlichen Seebeben scharf die bei litoraler Lage des Epizentrums sich einstellenden Erdbebenfluten, über deren Art und Verbreitung namentlich v. Hochstetter und F. E. Geinitz (geb. 1854) ausgedehnte Untersuchungen gepflogen haben; teilweise auch in der Absicht, aus der Zeit, welche die seismische Woge zur Durchlaufung einer bestimmten Meeresstrecke benötigte, die mittlere Meerestiefe näherungsweise zu berechnen. Der merkwürdigste aller bis jetzt beobachteten Fälle über Wellenfortpflanzung durch Wasser und Luft fällt in das Jahr 1883, als die kleine Insel Krakatau in der Sunda-Straße durch jähe Explosion des auf ihr gelegenen Vulkanberges fast vollständig vernichtet wurde. Ein aus gewiegten britischen Fachleuten bestehender Ausschuß veröffentlichte hierüber (London 1888) einen von G. J. Symons (geb. 1838) redigierten Gesamtbericht, und die hart betroffene niederländische Kolonialregierung beauftragte den Ingenieur Verbeek mit der Abfassung eines offiziellen Werkes (Batavia 1884—1885), aus dem hervorgeht, daß seit Menschengedenken kein ähnlicher Kraftausbruch der Natur die Erde in Schrecken gesetzt hatte. Höchstens läßt sich damit vergleichen die mesopotamische — Noachische — Erdbebenflut, von welcher neben der Bibel auch das in Keilschrift auf uns gekommene „Izdubar-Epos" erzählt, und dessen auslösende Ursachen E. Sueß in der geistvollen Einleitung

zu seinem großen, geodynamischen Werke auszumitteln unternommen hat.

Tektonische Erdbeben können nicht ausbleiben bei jedem Gebirgsbildungsakte. Wir erfuhren im zehnten Abschnitte, daß sich in den vierziger Jahren bezüglich dieses Aktes eine ganz neue Anschauung zu regen begann, indem man die Auftürmung der Erdgebirge nicht mehr, wie zuvor fast allgemein, mit einer direkten Hebung, sondern mit einem durch Einschrumpfung der kleiner werdenden Erdkugel bedingten Seitenschube in Verbindung brachte. Hopkins als Theoretiker, Dana, A. Favre (Abschnitt X), Mallet u. a. als geologische Beobachter neigten dieser Ansicht zu, und es wäre unbillig, zu verkennen, daß auch die Deutschen W. P. Schimper und Volger unter den Vorkämpfern dieser Kontraktionstheorie einen Platz verdienen. E. Sueß begründete 1875 durch seine „Entstehung der Alpen“ eine neue Epoche des Fortschrittes, und nicht lange nachher erschien auf dem Plane der jugendliche Forscher Albert Heim, dessen in den Glarner Gebirgen — Tödi und Windgälle — erworbene Autopsie ihn zu einer für Geologen und Physiker gleich bedeutungsvollen Leistung („Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung“, Basel 1878) befähigte. Gewiß ist von diesem Werke nicht jede Einzelheit aufrechtzuerhalten, und es mag dahingestellt bleiben, ob die Heimsche Deutung der berühmten Glarner Doppelfalte als einer abnormen Schichtenbiegung aufrechterhalten werden kann, oder ob mit Rothpletz („Geotektonische Probleme“, Stuttgart 1894) auf einen Überschiebungsprozeß zurückgegriffen werden muß. Daß die Faltung, wenn sich die damals noch stark belasteten Schichten in dem von Heim vorausgesetzten latent-plastischen Zustande befanden, so vor sich gehen konnte, wie dieser behauptet, ist kaum zu bezweifeln. Auch Sueß tritt diesen Ausführungen bei, indem er noch das Vorkommen tangentialer Krustenbewegungen als den eigentlichen Normalfall hinstellt, während Andere, um die Erscheinungen der Verwerfung, des Staffelbruches, der Horst- und Grabenbildung verständlich machen zu können, auch radiale Verschiebungen hinzunehmen zu müssen glauben. Eine konsequente Nomenklatur

der tektonischen Schichtendislokationen wurde von Heim und Sueß ausgebildet und in einem von ersterem und E. De Margerie gemeinschaftlich herausgegebenen Werke (Zürich 1888) niedergelegt. Die Experimentalgeologie, von F. Pfaff, E. Reyer und (Abschnitt XX) vor allem von Daubrée-Gurlt gerade für solche Zwecke eifrig ausgebildet, hat gar manche Bestätigung der Schrumpfungslehre geliefert, indem z. B. Versteinerungen, die man starkem Lateraldrucke aussetzte, in ganz dieselben Deformationen gebracht werden konnten, welche man wahrnimmt, wenn man Fossilien, zumal Belemniten, stärker gefalteten und gequetschten Felsbänken entnimmt. Sueß' großes Werk hat auch der Erdkunde ganz neue Perspektiven eröffnet, indem durch dasselbe Zusammenhänge zwischen auseinander liegenden Kettengebirgen — Apenninen, Schweizer Jura, Alpen, Karpathen, Kaukasus, Nordindischer Bogen — hergestellt wurden, deren sich zuvor kaum je ein Geograph bewußt geworden war.

Auch andere Gedanken über die Entstehung der Gebirge sind in neuerer Zeit zahlreich in die Öffentlichkeit gedrungen. Eine eigentümliche Gleitungstheorie besitzt man von E. Reyer („Theoretische Geologie“, Stuttgart 1888); eine durch Druck und innere Wärme bewirkte Schichtauftreibung wollen Th. M. Reade (geb. 1832) und, wenigstens innerhalb gewisser Grenzen, auch De Lapparent als gebirgsbildende Ursache anerkannt wissen. Aus Gewölben von verschiedenem Radius denkt sich A. Rothpletz die Erdrinde zusammengesetzt, und an der Berührungsstelle je zweier solcher Kuppeln sollen Spannungen herrschen, die sich in Faltungen umzusetzen vermögen. Unter den Amerikanern erwarb sich viele Freunde die isostatische Theorie (1892) von Dutton, durch K. Futterers Erläuterungen auch bei uns bekannter geworden; sie geht von der Hypothese aus, daß die Erdoberfläche in der Hauptsache eine Gleichgewichtsfläche sein muß, und deshalb entspricht einer Sedimentanhäufung stets anderwärts eine Bodensenkung. Eine kritische Prüfung dieser sämtlichen Anschauungen faßt A. Philippson dahin zusammen, daß noch lange nicht das letzte Wort gesprochen, die Schrumpfungs-

hypothese jedoch die am besten mit den verwickelten Thatsachen zu vereinbarende sei.

Die Humboldt-Buchsche Zeitrichtung verkannte zwar keineswegs ganz die Bedeutung der zerstörenden Naturkräfte, aber in ihrem wahren Werte lernte man deren Beteiligung bei der Ausmodellierung unseres Erdreliefs während der heroischen Periode doch noch nicht kennen. Lyell und Senft (Abschnitt X) haben die Natur des Verwitterungsprozesses aufgeklärt, dessen einzelne Stadien vielleicht am gründlichsten in dem großen Werke von J. Roth auseinandergelegt wurden. Mellard Reade, Fräulein G. Stadler, A. J. Adie (1808—1879), v. Richthofen u. a. zerfaserten die bei der Erosion sich folgenden Vorgänge; J. Walther stellte fest, inwieweit die ungleiche Wärmeaufnahmefähigkeit der einen Fels zusammensetzenden gesteinbildenden Mineralien dem Zerfalle der Felsmasse vorarbeitet; K. Lang (1849 — 1893), A. Blümcke, R. Aßmann verbreiteten sich über die Frostwirkungen, denen nach und nach auch das festeste Gestein unterliegt; Müntz wies in Pflanzen, in nitrifizierenden Sporen, ein nicht gleichgiltiges Moment der Gesteinszersetzung nach. Über Karbildung wurde erfolgreich von Penck und E. Richter, über Karrenfelder von F. Keller (1800 — 1881), K. Diener, F. Simony, dem Verfasser eines prächtigen Tafelwerkes über die Dachsteingruppe (Wien 1895), und am eingehendsten von M. Eckert gearbeitet. Auf die von W. v. Gümbel zuerst als würdiges Forschungsobjekt erklärten Erdpyramiden richteten A. Favre, F. Ratzel und, mit besonderer Betonung der morphologischen Seite, Ch. Kittler (1897) ihre Aufmerksamkeit. Vor allem aber galt es, zu ermitteln, wie die Korrasion, die Erosion des fließenden Wassers, einsetzt und fortarbeitet. Die Untersuchungen v. Richthofens, Pencks, Loewls, Gilberts, Philippsons haben hier Rat geschafft und uns u. a. einen tiefen Einblick in das Wesen der rückschreitenden Erosion ermöglicht, die sich im Zurückweichen der Wasserfälle (Niagara) zu erkennen giebt. Endlich lernte man, da man ja durch v. Richthofens China-Werk darüber unterrichtet war, welch gigantische Staub- und Lößablagerungen im zentralen und östlichen

Asien die Landoberfläche in ihren natürlichen Formen geradezu verhüllen, die zerstörende und konstruktive Aktion der bewegten Luft richtiger beurteilen, und damit stand in engster Wechselbeziehung die Ergründung der die Wüstenbildung regelnden Verhältnisse. J. Walther, K. Schirmer, H. Reiter, K. A. v. Zittel, Krasnow, Muschketow und viele andere beschrieben uns die wichtigsten tellurischen Wüstengebiete, und so emanzipierte man sich von dem hergebrachten Begriffe der Wüste als einer trostlos-monotonen Sandfläche und sah, wie sich dieselbe als Sand-, Kies-, Stein- und Lehmwüste dem Auge darstellen kann. Ob auch die Gletschererosion einen kräftigen Faktor der Oberflächenbildung abgäbe, darüber sind noch jetzt die Akten nicht geschlossen. Allseitig wird zugegeben, daß das Gletscherbett durch das darüber hinziehende, mit eingebackenen Festkörpern versetzte Eis abgenützt, geschrammt, aufgearbeitet wird, zumal da nach den Versuchen von Blümcke und Finsterwalder (1890) eine sehr starke, durch die große Kälte hervorgerufene Verwitterung die Auflösung und Absplitterung des Gesteines vorbereitet. In beschränktem Umfange halten eine glaziale Erosion z. B. Zoeppritz, Heim, R. A. Baltzer (geb. 1842), Salomon für möglich, wogegen Penck, W. M. Davis, A. v. Boehm u. a. die zerstörende Wirkung zumal der mächtigen, eiszeitlichen Alpengletscher weit höher einschätzen. Immerhin wird mit einer eigentlichen Ausfurchung oder Auspflügung von Längsthälern und Seebecken, wie sich dies A. C. Ramsay und J. Tyndall in den siebziger Jahren zurechtgelegt hatten, höchstens bedingt gerechnet.

Wirkungen der Erosion und der mit ihr in der übergroßen Mehrzahl aller Fälle sich paarenden Denudation erkennt der Geologe auf Schritt und Tritt. Für die approximative Bestimmung der Denudationsbeträge haben G. Karsten, Heim, Penck, Forel, E. Brückner u. a. Regeln gegeben. Die gewaltsame Denudation führt zu katastrophalen Vorkommnissen, für deren Gesamtheit Penck den glücklich gewählten Namen Massentransport vorgeschlagen hat. Dahin gehören die oberflächlichen Erdfälle, über deren Modalitäten F. Sandberger (1880) sich verbreitete, die Muhrbrüche, denen F. Frech (1898) eine den

Gegenstand voll erschöpfende Abhandlung widmete, und die Uferrutschungen, bezüglich deren das von A. Heim (1887) nach dem traurigen Verschwinden einer ganzen Vorstadt von Zug im dortigen See erstattete Gutachten dauernden Wert behalten wird. Häufiger noch und zumeist gefährlicher sind die sowohl dem Mittel- wie auch dem Hochgebirge eigenen Bergschlipfe und Bergstürze, deren Theorie Rothpletz, Heim und Pollak zum Objekte vielfach übereinstimmender, teilweise aber auch auseinandergehender Untersuchungen gemacht haben. Erosive Thätigkeit ist auch bei der Entstehung der Höhlen fast allein die maßgebende Ursache, obschon tektonisch entstandene und Überdeckungshöhlen nicht gänzlich ausgeschlossen sind. Durch zahlreiche größere und kleinere Veröffentlichungen, unter denen besonders zwei systematische Lehrbücher dieser neuen Disziplin (Paris 1890 und 1899; Wien 1894) bemerkenswert erscheinen, haben E. A. Martel und F. Kraus eine selbständige Höhlenkunde oder Speläologie begründet, welcher die von dem französischen Forscher geschickt geleitete Zeitschrift „Spelunca“ als Organ dient. Auch die Spezialität der Tropfsteingrotten — Fränkische Schweiz, Adelsberg, St. Kanzian — hat ihre Liebhaber gefunden, und es verdient registriert zu werden, daß die noch von dem unermüdlichen Höhlenwanderer A. Schmidl (1802—1863) festgehaltene Ansicht, zur Bildung größerer Stalaktiten oder Stalagmiten seien ungeheure Zeiträume erforderlich, von F. Adami vollständig widerlegt worden ist. Als besonders höhlenreiche Gebiete sind alle verkarsteten Länder bekannt. Man weiß jetzt, daß Karsterscheinungen — Höhlen, trichterförmige Erdfälle oder Dolinen, unterirdische Flüsse, blinde Thäler, periodischer Zu- und Abfluß von Wasser durch sogenannte Ponore — in jedem geologischen Zeitalter, wenn nur poröser Kalkstein ansteht, vorkommen können. Einläßlich beschäftigten sich mit den genetischen Verhältnissen der Verkarstung F. Kraus, Makowsky, Reyer, Tietze, v. Mojsisovics, E. Richter u. a., und J. Cvijić, als Serbe von Hause aus den Karstgebilden nahestehend, legte in einer umfassenden Monographie („Das Karstphänomen“, Wien 1893) die Ergebnisse mehrjähriger Terrain- und Litteraturstudien nieder. Die Morphologie hat namentlich Notiz zu nehmen von der neuen

Klassifikation der Dolinen, welche durchaus nicht bloß durch unterirdischen Zusammenbruch entstanden zu denken sind, sondern sich sehr häufig als das Endprodukt einer längeren Reihe oberflächlich verlaufener Erosions- und Denudationsvorgänge, ähnlich wie die oben erwähnten Kare, darstellen.

Weitaus am kräftigsten bethätigt sich der Überzeugung fast aller Geologen zufolge die Korrasion bei der Bildung der Thäler. Die Auffassung aller Längs- und Querthäler als rein tektonischer Bildungen hat sich überlebt, mögen auch nach Hartung, H. Reusch, v. Drygalski, Kjerulf u. a. gelegentlich Spaltenthäler vorkommen, wie man ja in gar manchen Ländern — Kjerulf hat es für Norwegen, Diener und Blanckenhorn haben es für Syrien durchgeführt — förmliche Netze von Bruchlinien aufzudecken imstande ist. Von den Längsthälern gilt in der Hauptsache, daß sich auf leise vorgezeichneter, geotektonischer Grundlage die ausspülende Aktion der Gewässer kräftig bethätigt hat. Für die Bildung der Durchbruchthäler interessierten sich schon frühzeitig F. Roemer und W. v. Gümbel; exakt begründeten aber eine neue Phase dieser Theorie die Himalayageologen Medlicott und Blanford, und ihnen sind Tietze, der in den Karpathenländern gearbeitet hatte, die Nordamerikaner Gilbert und Powell, sowie die österreichischen Geographen Supan, Loewl und V. Hilber beizugesellen. Dazu treten dann noch neuere Untersuchungen von Penck, Futterer, Frech u. a. Man darf es als Regel aussprechen, daß fließendes Wasser dann mit erhöhter Energie ausnagend wirkt, wenn das vorliegende Gelände sich in tektonischem Hebungszustande befindet, wie er durch Faltung, Schollenverschiebung u. s. w. herbeigeführt werden kann. Die Unionsgeologen hatten besonders gute Gelegenheit, sich mit der Natur der fluviatilen Erosion vertraut zu machen, weil sich in ihrem Lande die riesigen Cañon-Klammen vorfinden, deren Geschichte Dutton in einem fundamentalen Werke („Tertiary History of the Grand Cañon“, Washington 1882) geschrieben hat. Wer Flußsysteme überblickt und die ihm sichtbaren Thäler etwa nach den morphogenetischen Kennzeichen v. Richthofens oder Pencks zu rubrizieren unternimmt, muß auch sein Augenmerk auf

die Wasserscheiden richten, welche die ältere Erdkunde irrig auf die höchsten Kämme der Gebirge verlegte. Erst v. Buch gab eine zutreffende Begriffsbestimmung der „Wasserteiler", wie er sich ausdrückte; unser modernes Wissen von dieser Sache stellt A. Philippsons Schrift von 1886 übersichtlich vor Augen. Wenn durch irgendwelche Anläße ein Fluß seine Richtung ändert, so kommt es — nicht notwendig, aber auch nicht selten — zu einer Verlegung der Wasserscheiden. Eine geschichtliche Bearbeitung dieses besonderen Teiles der allgemeinen Morphologie führt oft zu sehr interessanten, auch rein historisch bedeutsamen Ergebnissen; dahin gehört z. B. das viel erörterte Oxusproblem, an dessen Lösung sich Konschin, Lochtin, v. Kaulbars, Gluchowsky, Muschketow, E. Blanc, Bogdanowitsch, R. v. Erckert und W. Komischke beteiligt haben. Das Schlußurteil lautete dahin, daß der Amu Darja sich niemals, wie vielfach gemutmaßt worden war, in den Kaspischen See ergossen haben kann.

Der Abriß, welchen wir in Abschnitt X von der Entwicklung der tellurischen Morphologie gaben, endete mit der Begründung der Glazialgeologie durch Agassiz und Schimper; die neueren und neuesten Geschicke dieses unerwartet rasch zu außerordentlicher Selbständigkeit gediehenen Zweiges der Wissenschaft sollen uns gleicherweise jetzt noch beschäftigen. Man fuhr mit dem Studium der eine Moränenlandschaft charakterisierenden Vorkommnisse eifrig fort, und da sich herausstellte, daß die schwäbisch-bayerische Hochebene für diesen Zweck die allergünstigsten Bedingungen darbietet, so konzentrierte sich auch auf sie die allgemeinste Aufmerksamkeit. Zu Denen, welche die eigenartigen Züge der Bodenbeschaffenheit glazial deuteten, gehörten v. Gümbel, v. Zittel, Clessin u. a.; vor allem aber unterzog sich dieser Aufgabe mit hingebendem Eifer der jugendliche Albrecht Penck, der zuvor schon das norddeutsche Diluvium bei der Ausarbeitung der geologischen Karten von Sachsen kennen gelernt hatte und nunmehr in dem preisgekrönten Werke „Die Vergletscherung der deutschen Alpen" (Leipzig 1882) die Gesamtheit der einschlägigen Lehren unter mannigfach neuen Gesichtspunkten zur Darstellung brachte. Eine für den Lokalforscher unentbehrliche Ergänzung bildet v. Ammons erwähnte

„Gegend von München, geologisch geschildert“ (München 1894). Bald reihten sich auch aus anderen Gegenden ähnliche Charakteristiken der diluvialen Glazialresiduen an, großenteils ausgehend von Gelehrten, deren schon im ersten, topographischen Teile dieses Abschnittes zu gedenken war. Wir nennen nur Heim, Brückner und E. Du Pasquier für die Nordschweiz; Penck, Früh und R. Sieger für die an Miniaturhügeln dieses — keltischen — Namens reiche Drumlinlandschaft des Bodenseegebietes; J. Partsch (geb. 1851) in zwei mustergültigen Monographien (Breslau 1892; Stuttgart 1894) für Sudeten und Riesengebirge; G. M. Berendt, Keilhack, F. Wahnschaffe, Noetling, H. Haas und E. Geinitz für die norddeutsche Ebene; v. Siemiradzki und Nikitin für Rußland; J. Geikie für Großbritannien. Die von F. M. Stapff und O. Lang noch mit Geschick vertretene Drifttheorie, welche das Verfrachten der Findlinge und Moränentrümmer durch schwimmende und allmählich schmelzende Eisberge besorgen läßt, mußte im letztvergangenen Dezennium endgültig der reinen Glazialtheorie, deren erster Vorkämpfer O. Torell war, weichen. Pencks Nachweis, daß die Grundmoränen zu den Residuen einer Moränenlandschaft den quantitativ bedeutendsten Beitrag leisten, ist mit der Drifthypothese völlig unvereinbar.

Nächst dieser einschneidenden prinzipiellen Erkenntnis ist noch eine zweite als das Haupterträgnis der modernen Glazialforschung zu verzeichnen, nämlich dasjenige, daß die Eiszeit keine einheitliche war, daß sich vielmehr längere Interglazialperioden zwischen die Zeiträume ausgedehntester Übereisung einschoben. Die britischen Untersuchungen J. Geikies („The Great Ice Age and its Relations to the Antiquity of Man“, London 1874; 2. Auflage 1894) brachten diese Frage in raschen Fluß, und Pencks Analyse der — bei Innsbruck gelegenen — Hoettinger Breccie bestätigten die Thatsache, daß man Gesteinslagen mit fossilen Pflanzenresten, die auf ein verhältnismäßig sehr warmes Klima hindeuten, mitten zwischen anderen Schichten antrifft, deren geschrammte und gekritzte Steintrümmer, deren Gletscherschliffe zweifellos glazialen Ursprung verraten. Als so gut wie feststehend kann eine dreimalige Eiszeit gelten, deren Ablage-

rungszeugen wir, von unten auf gerechnet, in dem Deckenschotter (Nagelflue), dem Niederterrassenschotter und dem Hochterrassenschotter vor uns haben; Schottermassen sind fluvioglaziale Bildungen, die zeitlich der Umwandlung der gigantischen Eismassen in flüssiges Wasser entsprechen. Penck hält sogar dafür, daß noch eine vierte Eiszeit von kürzerer Dauer angenommen werden müsse. Als die letzte Vergletscherungsperiode vorüber war, herrschte, wie A. Nehrings (geb. 1845) Mitteilungen über die damaligen paläontologischen Reste bekunden, über Mitteleuropa ein Steppenklima, ähnlich demjenigen der Pampas oder der zentralasiatischen Hochländer. Das Auftreten des Menschen fällt gleichfalls, insoweit sich einstweilen sichere Schlüsse hierüber ziehen lassen, der Zeit nach mit dem Aufhören des Eiszeitalters zusammen. Auf die hier mitsprechenden klimatischen Fragen wird im nächsten Abschnitte zurückzukommen sein.

Die didaktische Litteratur der Geologie ist bereits früher besprochen worden, und da die allermeisten Werke auch den dynamisch-morphologischen Problemen gerecht werden, so bedarf es keiner Rekapitulation. Neben den besonders unentbehrlichen Handweisern v. Richthofens und A. Pencks möchten wir nur noch ein im edelsten Sinne populäres und überaus inhaltreiches Buch anführen, nämlich den ersten Band von M. Neumayrs „Erdgeschichte" (Wien-Leipzig 1886), deren Neuauflage V. Uhlig (ebenda 1895) in die Hand genommen hat. Der zweite Band hat es ausschließlich mit der Versteinerungskunde zu thun. Nicht unerwähnt sollen auch bleiben die instruktiven geologischen Wandtafeln, wie man sie von K. v. Haushofer und K. A. v. Zittel (Kassel 1879 bis 1884) und nachmals von H. Haas (Kiel-Leipzig 1895) erhalten hat. Gut gewählte geographische Tafeln, welche die typischen Landschaftsformen deutlich herausheben und so zur Beleuchtung der von W. v. Gümbel lebhaftest betonten ursächlichen Beziehungen zwischen Bodengestalt und geognostischem Bau dienen, gereichen auch dem Unterrichte in der Geologie zur Unterstützung und Belebung. A. Geistbeck und Ch. Gruber haben den Lehrenden und Lernenden schön ausgeführte Blätter dieser Art zur Verfügung gestellt.

Dreiundzwanzigstes Kapitel.

Erdmessung und Erdphysik in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts.

Wir haben die neuere Geschichte der höheren Geodäsie, deren Pflicht es ist, uns über die wahre Gestalt des Erdkörpers aufzuklären, bis gegen die Mitte des 19. Jahrhunderts fortgeführt. Man war schon ziemlich weit gekommen, hatte die Notwendigkeit erkannt, Meridianmessungen mit Längengradmessungen zu verbinden und den rein geodätischen Operationen auch stets physikalische Beobachtungen parallel gehen zu lassen. Auch die Technik dieser schwierigen Prozeduren hatte durch die uns bekannten Arbeiten von Gauß, Bessel und Baeyer, sowie durch des Speierer Mathematikers F. M. Schwerd (Abschnitt IX) Werk „Die kleine Speierer Basis“ (Speier 1822) ungemein gewonnen; aus letzterem ersah man, daß bei Aufbietung hoher Akribie auch von einer verhältnismäßig kurzen Grundlinie aus sehr genaue Ergebnisse erzielt werden können. Einer unserer gründlichsten Sachkenner, der bayerische General K. v. Orff (geb. 1828), bemerkt in einer zur Orientierung über diese Fragen äußerst geeigneten, akademischen Rede („Über die Hilfsmittel, Ziele und Resultate der internationalen Erdmessung“, München 1899) von Schwerds kühnem Unternehmen Folgendes: „Sein Versuch, die 19,8 km lange Dreiecksseite Speier-Oggersheim durch Messung einer kleinen, nur 860 m langen Basis zu kontrollieren, fiel so günstig aus, daß sich Bessel veranlaßt sah, bei der 1834 unternommenen,

durch die Genauigkeit der Ausführung berühmt und mustergültig gewordenen Gradmessung in Ostpreußen sein geodätisches Netz auf die nur 1822 m lange Königsberger Basis zu gründen.“ So wertvoll übrigens alle diese mühsamen und methodisch fruchtbaren Messungen waren, so trat die ganze Angelegenheit doch erst dann in ein ganz neues Stadium ein, als W. v. Struve seine große russische Dreieckskette in Angriff nahm, denn bis dahin waren die vermessenen Flächenräume, verglichen mit der Erdoberfläche selber, so klein, daß aus ersteren auf Ungleichförmigkeiten der Erdgestalt, falls solche vorhanden sein sollten, kaum mit einiger Sicherheit geschlossen werden konnte.

Der Meridianbogen, über dessen exakte Bestimmung der berühmte deutsch-russische Astronom in seiner 1860 erschienenen Schrift berichtete, hatte dagegen die stattliche Länge von 25°10′; er reichte vom nördlichen Eismeere bis zur Donau, und 45 Jahre waren für die Gesamtaufnahme erfordert worden, indem die Vorarbeiten bereits 1810 begonnen worden waren, dann aber freilich durch die kriegerischen Zeiten eine längere Unterbrechung erfahren hatten. Im Jahre 1855 war die Feldarbeit beendigt, und nach weiteren fünf Jahren lagen die Resultate abgeschlossen vor. Außer dem Chef und dem norwegischen Mathematiker Hansteen (Abschnitt VI) hatten noch General C. v. Tenner und N. H. Selander (1804 bis 1870) hervorragend mitgearbeitet. Diesem großen Werke stellte sich als im Prinzipe ebenbürtig zur Seite Maclears (Abschnitt V) Revision der älteren Gradmessungsarbeiten in Südafrika („Verification and Extension of La Cailles Arc of Meridian at the Cape of Good Hope“, London 1866); die schon früher gehegte Vermutung, daß es nicht angehe, die Süd- und Nordhälfte der Erde als zwei absolut kongruente Halbellipsoide aufzufassen, fand ihre Bestätigung. Und man war inzwischen in die Lage gekommen, solchen Thatsachen im Interesse einer umfassenden Gesamtanschauung die richtige Seite abzugewinnen; dazu verhalf der Wissenschaft jener treffliche Mann, den wir seinerzeit als Gehilfen Bessels die Arena betreten sahen, in welcher er so Hervorragendes leisten sollte.

General J. J. Baeyer stand bereits im 67. Jahre eines bewegten, ganz dem Vaterlande in den verschiedensten Bethätigungs-

formen gewidmeten Lebens, als er die Einleitung zu der großen Unternehmung traf, welche seinen Namen unsterblich gemacht hat. Kurz zuvor war er, auf besondere königliche Ordre, ohne vorhergegangenen Frontdienst zu den „Offizieren von der Armee“ versetzt worden; man hatte ihm zwar die Führung einer Brigade übergeben wollen, aber auf A. v. Humboldts Vorstellung hin war davon Abstand genommen und dem hochverdienten Manne eine Stellung zugewiesen worden, welche ihm volle Muße für die Lösung seiner Lebensaufgabe gewährte. Tüchtige Brigadiers, so hatte der große Naturforscher gemeint, habe man genug, aber nur einen Baeyer. Die beiden Schriften, welche derselbe zu Anfang der sechziger Jahre herausgab („Über die Größe und Figur der Erde“, Berlin 1861; „Das Messen auf der sphäroidischen Erdoberfläche“, ebenda 1862) sind vom bedeutendsten Erfolge gewesen; die erstere in agitatorischer, die zweite in theoretischer Beziehung. Baeyer schlug vor, es möchten alle Staaten, die durch ihre geographische Lage bei einer mitteleuropäischen Gradmessung beteiligt seien, Delegierte zu einer diesen Plan einheitlich regelnden Konferenz entsenden, und diese Anregung traf allenthalben auf vollstes Verständnis. Im Oktober 1864 fand die Versammlung statt, und auf ihr entstanden ein Zentralbureau und eine permanente Kommission, zu welch letzterer bereits ein Jahr zuvor der Grund gelegt worden war. In Bälde überzeugte man sich, daß der ursprüngliche Plan, der wohl manchem als ein allzu kühner erschienen sein mochte, noch wesentlich erweitert werden mußte, und so trat 1867 an die Stelle der mitteleuropäischen eine europäische Gradmessung, an der sich alle europäischen Kulturvölker — die Türkei schloß sich begreiflicherweise aus — beteiligten. Baeyer verblieb Vorsitzender des Zentralbureaus und sorgte für die fortlaufende Veröffentlichung der jährlichen Generalberichte, während eine alle drei Jahre wiederkehrende Tagung der Konferenzen in Aussicht genommen und seitdem auch durchgeführt wurde. Unter der Leitung dieser oberen Instanzen gedieh ein Plan zur Reife, den sich W. v. Struve 1857, bald nach Vollendung seiner großen Breitengradmessung, gebildet hatte, und mit dem Jahre 1863 begann jene umfassende Parallelmessung, welche sich von

Valentia in Irland bis Orsk in Sibirien erstreckte und den von Kepler (Abschnitt VI) zuerst hingeworfenen Gedanken im großartigsten Stile verwirklichte. Kaum aber war für Europa das Notwendigste gethan, so wurde man inne, daß eine Erweiterung zu einer Internationalen Erdmessung dringend angezeigt sei, und die Konferenz des Jahres 1886, in Berlin zusammengetreten, ratifizierte die kühne Idee. Solange es ihm die nur sehr langsam abnehmenden Kräfte gestatteten, war Baeyer ständiger Ehrenpräsident der in periodischer Reihe stattfindenden Versammlungen, und als der Neunundachtzigjährige bei der Konferenz in Rom fehlen mußte, wurde ihm eine goldene Medaille mit sinniger Umschrift übersandt, welche des Altmeisters unsterbliches Verdienst feierte. Und in der That: Wenn wir um die Jahrhundertwende über eine Detailkenntnis von der Figur der Erde verfügen, welche gerechtes Staunen erregen mag, so sind wir dafür in erster Linie dem greisen Freiheitskämpfer von 1813 und 1814 zu Dank verbunden.

Sehen wir nun zu, welche Ansichten über die Gestalt und Größe des Erdkörpers durch jene rastlosen Untersuchungen gezeitigt wurden. Ehe die Vermessungsarbeit in das bezeichnete neue Zeitalter eintrat, galten als normativ Bessels Feststellungen aus dem Jahre 1837, und die damals für den Äquatorialhalbmesser a, für den Polarhalbmesser b und für die Abplattung α gewonnenen Werte waren (a und b in km ausgedrückt, während α eine reine Zahl darstellt) diese: $a = 6377{,}397$; $b = 6356{,}079$; $\alpha = 1:299{,}2$. Diese Zahlen liegen auch den geographischen Tabellen von H. Wagner (1870) und H. v. Hartl (1892) zu Grunde, denen man die Größen der einzelnen Meridian- und Parallelkreisbogen entnehmen kann. Nächstdem kommen in Betracht die Daten von Listing (1873): $a = 6377{,}365$; $b = 6355{,}298$; $\alpha = 1:289$. Im Jahre 1880 endlich lieferte der Engländer A. R. Clarke (geb. 1828), der schon früher eine ähnliche Arbeit im Interesse genauer Maßvergleichung durchgeführt hatte („Comparison of the Standards of Length of England, France, Belgium, Prussia, Russia, India, Australia“, London 1866), eine abermalige Neuberechnung, von welcher das Schlußresultat gleich-

falls angemerkt sein möge: a = 6378,249; b = 6356,515; $\alpha = 1:293,47$. Die in Amerika durch selbständige Gradmessungen ermittelten Zahlenwerte teilt uns J. H. Gore („Geodesy“, London 1891) mit; nach Harkneß (Abschnitt XIII) ist $\alpha = 1:300,2$, was also wieder ganz auf Bessel hinauskommt. Die Vereinigten Staaten haben, seitdem um 1830 der Schweizer F. R. Haßler (1770—1843) Direktor des Küstenvermessungsdienstes wurde, der Erdmessung kräftigst unter die Arme gegriffen, was um so mehr wert ist, als von vornherein angenommen werden muß, daß sich Ost- und Westhälfte unseres Planeten zu einander nicht anders wie Nord- und Südhälfte verhalten werden.

An Hypothesen über die Abweichung der Erdgestalt vom geometrischen Sphäroide hat es in neuerer Zeit niemals gefehlt. Der in Abschnitt X und XXII genannte radikale Neptunist G. Bischof behauptete 1867, daß man durch Lotungen die rein sphärische Rundung des Meeresbodens werde ausmitteln können; E. Ritter (1801—1862) in Genf sprach sich, gleichfalls in den sechziger Jahren, dahin aus, daß die Meridianlinie eine — von der Ellipse allerdings nur unerheblich differierende — Kurve vierter Ordnung sei; der Neapolitaner E. Fergola (geb. 1830) endlich folgerte 1874 aus seinen Rechnungen, daß die Erde zwar wohl mit einem Rotationsellipsoide zusammenfalle, aber dessen geometrische Achse stimme nicht mit der Umdrehungsachse überein. Zu behaupten hat sich keine dieser Doktrinen vermocht, und auch die durch Th. F. v. Schubert (1789—1865) und Clarke — in dessen Schrift von 1880 — rechnerisch geprüfte Hypothese, die wahre Erdgestalt möge ein dreiachsiges Ellipsoid sein, wie sich dies nach Jacobi (Abschnitt VIII) auch mechanisch rechtfertigen ließe, befriedigte auf die Dauer nicht. Clarke hatte für die drei ungleichen Achsen a, b, c ($a > b > c$) bezüglich die nachstehenden Werte berechnet: 6377,556; 6376,837; 6356,719 Kilometer.

Die Erde war also, darüber herrschte schon um das Jahr 1870 kein Zweifel mehr, weder ein exakt zweiachsiges, noch ein exakt dreiachsiges Ellipsoid. Was aber ist sie denn in Wirklichkeit? Auf die sich nun bald durchsetzende Erkenntnis bereitete Listing vor durch den Rat, man solle die durch eine absolut ruhende

Wasserfläche gekennzeichnete Fläche, einerlei ob sie exakt geometrisch sei oder nicht, als eigentliche Repräsentanz des etwas unbestimmten Wortes Erdgestalt betrachten und die Eigenschaften derselben, für die sich der Name Geoid (γηοειδής, Erde-ähnlich) empfehlen möchte, direkt studieren, um nachher die Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung mit einer nach mathematischen Gesetzen gebildeten Fläche ergründen zu können. Das Geoid war offenbar, wie dies ja auch schon Gauß und Bessel erkannt hatten, eine Fläche, für deren sämtliche Punkte das kombinierte Potential (Abschnitt III und VIII) der Schwere und Zentrifugalkraft gleiche Werte annimmt. Was die Festlegung desselben anlangt, so kann dieselbe nur durch das Ineinandergreifen dreier verschiedener Methoden erfolgen; ehe wir jedoch dieselben schildern können, müssen wir einen Schritt rückwärts machen und kurz bei einem Zeitpunkte verweilen, den man wohl als denjenigen der skeptischen Resignation bezeichnen könnte, der aber notwendig war, um die wahre Natur des überaus verwickelten Problemes, welches es zu lösen galt, an das Licht zu bringen. Bis in die sechziger Jahre herein war der Standpunkt, auf den man sich stellte, und den auch die Baeyerschen Schriften zum Ausdruck bringen, etwa der folgende gewesen. Die ruhige Meeresfläche, durch Kanäle unter den Festländern fortgesetzt gedacht, hat eine geometrisch-sphäroidische Gestalt. Beliebig viele Gradmessungen, nach der Methode der kleinsten Quadrate sorgfältig ausgeglichen (Abschnitt III), mußten unter dieser Voraussetzung stets den nämlichen Wert der Abplattung liefern; des ferneren führen, einen schon 1743 von A. C. Clairaut gefundenen Lehrsatze gemäß, auch Messungen des Sekundenpendels (Abschnitt VI), an möglichst vielen Erdorten vorgenommen und durch die Wahrscheinlichkeitsrechnung von Fehlern befreit, zur Bestimmung der Abplattungsgröße. Dieser erwähntermaßen für fast selbstverständlich gehaltenen Annahme trat J. Ph. Fischer (1818—1887) schroff entgegen in einer Schrift („Untersuchungen über die Gestalt der Erde“, Darmstadt 1868), die sich allerdings wegen der Fremdartigkeit des Inhaltes und der ganzen Anschauungsweise nur langsam ihre Geltung erkämpfte, nachgerade aber doch einen Umschwung in den bei der Erdmessung beteiligten Kreisen

herbeiführte. Sieben Jahre später gestaltete H. Bruns (Abschnitt XIII und XVI) in einer zwar kleinen, aber überaus inhaltreichen Monographie („Die Figur der Erde, ein Beitrag zur europäischen Gradmessung“, Berlin 1876) Fischers mehr negative Kritik zu einem umfassenden Programme der künftigen Erdmessungsarbeit aus, indem er gewisse normative Sätze aufstellte, die seitdem allgemein anerkannt werden. Das Geoid ist eine völlig regellose, jedoch gegen außen allerorts konvexe Fläche; dem Geoide läßt sich ein ihm ziemlich genau angepaßtes Normal- oder Referenzellipsoid zuordnen; die jeweiligen Abweichungen zwischen Geoid und Ellipsoid müssen durch zweckdienliche Verbindung von Gradmessung, Nivellement und Schweremessung ermittelt werden.

Von der geodätischen Seite dieses Arbeitsprogrammes ist genug gesprochen worden. Das Nivellement wird seit bald dreihundert Jahren, nachdem schon bei Heron und Vitruvius Ansätze dazu nachweisbar sind, zur direkten Messung von Höhenunterschieden angewendet, und die geodätischen Schriftsteller, unter denen wir S. Stampfer, K. M. v. Bauernfeind (1818—1894) und W. Jordan (1842—1899) besonders namhaft machen, haben die Theorie und Praxis des Verfahrens bis zu hoher Feinheit ausgebildet, indem sie vor allem eine stete und scharfe Kontrolle der Teilung der Nivellierlatten durchführten und möglichst ausschließlich vom Nivellieren aus der Mitte Gebrauch machten, wodurch der Refraktionsfehler fast ganz ausgemerzt wird. Über alle europäischen Länder erstreckt sich jetzt ein Präzisionsnivellement, mittelst dessen man auch alle etwaigen Höhenveränderungen geodynamischer Natur festzustellen in den Stand gesetzt wird. Auf nivellitischem Wege fand man, daß die Niveaudifferenzen der einzelnen Meeresspiegel, die natürlich auf Mittelwasser zwischen Ebbe und Flut bezogen werden, äußerst geringfügig sind; man kennt ferner die Höhenabstände der einzelnen Meere genau, und wenn deshalb auf den Höhenmarken unserer Bahnhöfe die vertikalen Abstände von der Ostsee auf die Normalnull von Swinemünde bezogen sind, so kann man durch bloße Addition und Subtraktion ohne weiteres auf die Normalnull von Amsterdam, Marseille,

Triest und Venedig übergehen. Jedem solchen Nullpunkte entspricht eine Ortsfläche gleichen Potentiales, und jedes Land hat strenge genommen sein besonderes Geoid. Um von einer dieser Flächen zur anderen überzugehen, dient ein unabhängig von Stokes (Abschnitt XII) und G. R. Dahlander (geb. 1834) hergeleitetes Theorem, welches zeigt, wie der Abstand zweier dem nämlichen Systeme angehöriger Niveauflächen von der wechselnden Größe der Schwerkraft abhängig ist.

Dieses Element genau zu bestimmen, sind schon seit geraumer Zeit die mannigfaltigsten Anstrengungen gemacht worden. Eine ganze Reihe verschiedenartiger Apparate sind zu diesem Zwecke in Gebrauch genommen worden. Wir nennen das uns bereits aus der Seismologie bekannte Horizontalpendel, mit dem auch G. H. Darwins (Abschnitt XXII) bifilarer Meßapparat Ähnlichkeit besitzt, ferner Perrots und F. W. Pfaffs auf das Prinzip der Federwage begründetes Geobarometer, das Bathometer von William Siemens, dem weiter unten näher getreten werden muß, die Gasvolumeter von Boussingault, A. Issel (geb. 1842) und E. E. N. Mascart (geb. 1837) und insonderheit die in Abschnitt VI bereits unter diesem Gesichtspunkte erwähnte Libelle. Mit Hilfe der letzteren haben Ph. Plantamour (geb. 1816) in Genf und K. v. Orff in Bogenhausen bei München langsam periodische — nach Issel bradyseismische — Schwankungen des Erdbodens festgestellt, deren Ursache mutmaßlich eine meteorologische ist. Als zweckdienlichstes Mittel, sei es, den wirklichen Betrag der Erdschwere an irgend einem Orte zu finden (absolute Messung), sei es, zwei Punkte bezüglich ihrer Schwerkraftverhältnisse zu vergleichen (relative Messung), wird jedoch für alle Zeiten die Länge des Sekunden schlagenden Pendels angesehen werden, denn sie ist der Erdanziehung direkt proportional. Sabine, Ch. S. Peirce, O. E. Schiötz (geb. 1846), Neumayer und vor allem der österreichische Oberst R. v. Sterneck haben die Technik der Pendelmessung ungemein vervollkommnet, und zumal der kompendiöse, leicht tragbare Apparat v. Sternecks, dessen Sicherheit Kochs Verbesserungsvorschläge (1899) noch erhöht haben, lieferte bereits die wertvollsten

Daten hinsichtlich der geographischen Verbreitung der Erdschwere. Einige Angaben über letzteren Gegenstand dürfen an dieser Stelle nicht fehlen.

Den großen Reisen Sabines, H. Fosters, L. J. Duperreys, welche hauptsächlich diesen Zweck verfolgten, ist etwas Gleiches in der zweiten Jahrhunderthälfte allerdings nicht an die Seite zu stellen, aber die konsequent durchgeführten Beobachtungen von E. Plantamour (1815—1882), C. A. F. und C. F. W. Peters, Helmert u. a. haben uns doch mit einer Fülle wichtigen Materiales bekannt gemacht. Umfängliche Reihen ergaben die seit 1865 im Gange befindlichen vorderindischen Messungen von J. P. Basevi (1832—1871) und O. Heaviside (geb. 1850), der sich ersterem später anschloß. Gemeiniglich bediente man sich des Katerschen Reversionspendels (Abschnitt VI), dem J. Finger (geb. 1841) im Jahre 1881 das Kommutationspendel substituierte. Mit besonderem Fleiße kultivierten die letzten Jahre die relativen Schwerebestimmungen an der Hand des Sterneckschen Apparates. So sind solche auf dem Montblanc, in Pulkowa, in Kopenhagen, auf der Insel Bornholm, ganz besonders aber im Bereiche der Alpen vorgenommen, wo J. Messerschmitt namentlich die Schweiz ins Auge faßte, während Helmert und v. Sterneck ein Schwereprofil von Nord nach Süd quer durch die Tiroler Berge legten. Es fand sich, daß dem Flachlande Süddeutschlands und Oberitaliens, wie letzteres schon weit früher (Abschnitt VI) wahrgenommen worden war, ein Schwereüberschuß, dem eigentlichen Hochgebirge hingegen ein Schweredefekt entspricht, so daß man wohl annehmen muß, es lägen hier entweder in größerer Tiefe Massen von sehr geringer Dichte verborgen, oder es sei beim Gebirgsfaltungsakte gleichzeitig ein ausgedehnter Hohlraum entstanden. Auch amerikanische Beobachter haben solch eigentümliche Schwerevariationen in den Rocky Mountains konstatiert.

Mit diesen Anomalien der Gravitationsverteilung hängen auch die bei einzelnen Erderhebungen nachgewiesenen Lotablenkungen und Lotabstoßungen zusammen. Das negative Verhalten des doch gewiß eine ungeheure Steinmasse darstellenden

Himalaya-Gebirges hatte Airy, Stokes und J. H. Pratt (1809 bis 1871) zu teilweise sehr eigentümlichen Spekulationen veranlaßt, deren Widerlegung einen der Gründe bildete, denen man die Entstehung des oben genannten Fischerschen Buches verdankt. W. v. Struve, Ph. Keller, W. Thomson haben die Lotstörungen generell behandelt, und Baeyer zeigte an dem Beispiele der Granitkerne des Harzes, wie durch jene die großen geodätischen Operationen beeinflußt werden. Im Jahre 1881 knüpfte der Geologe K. A. Lossen (Abschnitt XXII) an Baeyers Nachweisungen an und legte die Bedingtheit der Lotdeviationen durch den geognostischen Charakter des Geländes im einzelnen dar. Für Indien wurde von R. Strachan (geb. 1835), im Kaukasus von General H. Stebnitzki (1832—1897) die Lotrichtung festgestellt. Die Kongresse des Gradmessungskollegiums ließen und lassen sich durch einzelne damit beauftragte Mitglieder fortlaufenden Bericht über die Fortschritte dieser Untersuchungen erstatten, wie dies namentlich durch Helmert zum öfteren geschehen ist.

Mit diesem letzteren Geodäten, dessen Name uns auf den letzten Seiten wiederholt entgegengetreten ist, haben wir uns nun noch etwas eingehender zu beschäftigen. Robert Helmert (Abschnitt XIII), seit 1886 Direktor des einer Neugestaltung unterzogenen k. preußischen Geodätischen Institutes, hat von allen neueren Forschern für die Lehre von der Erdgestalt ohne Zweifel das Meiste gethan, und sein großes Handbuch („Mathematische und physikalische Theorien der höheren Geodäsie", Leipzig 1883 bis 1884) wird noch für längere Zeit der Ratgeber für den Praktiker, eine Fundgrube für kommende Generationen bleiben. Der erste Band entwickelt in vollster Ausführlichkeit, und mit Zuziehung aller mathematisch verfügbaren Hilfsmittel, die Lehre von den späroidischen Messungen; hier wurde der größte Kugelkreis ersetzt durch eine kürzeste oder geodätische Linie, und statt die sphärische Trigonometrie anzuwenden, bedarf der Rechner einer selbständigen Theorie der geodätischen Dreiecke. Eine solche gaben Grunert (1837) und Christoffel (1868). Der erwähnte Band ist mithin rein mathematischen Inhaltes, und die Mechanik tritt erst im zweiten Bande hinzu, welcher mit einer äußerst detail-

lierten Betrachtung der den Niveau- oder Geoidflächen zukommenden Eigenschaften anhebt und insbesondere, auf den Attraktionskalkül (Abschnitt XV) gestützt, die für die gesamte Geophysik fundamentale Frage erörtert, welche Gestaltveränderungen solche Flächen unter dem Einflusse von Massenumsetzungen erleiden. Dadurch werden die älteren Berechnungen über die auf Inseln, an Festlandrändern und im Inneren der Kontinente obwaltenden Schwereverhältnisse, welche J. F. Saigey (1797—1871), J. Hann u. a. angestellt hatten, in ihrem Zusammenhange mit den Grundlehren klargelegt und es kann zumal die von Faye zu Anfang der achtziger Jahre aufgestellte, im Anfange mit vielen Zweifeln aufgenommene Ansicht ihre Bestätigung finden, daß die Erdrinde unterhalb der Ozeane kompakter als unter den Festländern sein muß. Nächstdem spricht sich Helmert auch über die Möglichkeit aus, durch Kondensation aller störenden Massen auf einer sphärischen Hilfsfläche angenäherte Werte für die irgendwo das Geoid vom Referenzellipsoide trennenden Entfernungen zu erhalten; dieselben sind nicht so bedeutend, wie man anfänglich gedacht hatte, und nach W. Hergesell (1891) werden sie kaum je 250 m im einen oder anderen Sinne übersteigen. Speziell für Europa wird den Eröffnungen zufolge, welche Helmert dem in Berlin zusammengetretenen Geographischen Weltkongresse von 1899 machte, diese Zahl noch erheblich, nämlich auf etwa 100 m, eingeschränkt werden müssen. Auch darnach wird gefragt, ob man durch Mondbeobachtungen, wie dies Maupertius, J. A. Euler (1734—1800) und neuerdings J. Bischoff (1889) für möglich erklärt haben, zu einer Einsicht in die gestaltlichen Verhältnisse des Geoides gelangen könne; die Theorie ist unangreifbar, aber thatsächlich wird man auf diesem Wege ebensowenig zu einem befriedigenden Resultate durchdringen können, wie durch Befolgung des von Laplace gegebenen Rates, aus gewissen Störungen der Mondbahn auf die Abweichung der Erde von der Kugelgestalt zu schließen. Auch Helmert stimmt völlig mit den durch Bruns normierten Maßnahmen für die weitere Thätigkeit der internationalen Erdmessung überein. Gradmessungen in Breite und Länge, Schwerebestimmungen, nivellitische Festlegungen der

Fixpunkte müssen sich die Hand reichen. Selbstverständlich müssen auch die anderen Erdteile ausgiebiger als bisher in das Messungswerk einbezogen werden, und dazu sind bereits die Anfänge gemacht. General C. Ibañez (gest. 1891) hat Spanien mit der nordafrikanischen Küste trigonometrisch verbunden, und das akademische Kartell, welches im Herbste des Jahres 1900 zwischen den hervorragendsten gelehrten Gesellschaften Europas abgeschlossen worden ist, hat eine Gradmessung im Sudān als eines der mit vereinten Kräften anzustrebenden Ziele in Aussicht genommen.

Auch die Dichte und die interne Schwereverteilung des Erdkörpers gehören zu den in Helmerts Werke einläßlich abgehandelten Materien. Ganz übereinstimmend, aber auf anderem Wege, bewies J. K. F. Weihrauch (1841—1897), daß die Schwerkraft, wenn man sich radial gegen den Erdmittelpunkt hin bewegt, anfänglich etwas zunimmt, aber bald ihr Maximum erreicht und sodann stetig abnimmt. Von den älteren Verfahrungsweisen, einen Wert für die mittlere Dichte der Erde zu finden, nahm Abschnitt VI Akt, und so können wir rasch über die Problemstellung hinweggehen, um zu zeigen, was seit einem halben Jahrhundert auf diesem Arbeitsfelde gefördert wurde. Die Methode der Cavendishschen Drehwage bildeten weiter aus (1873) M. A. Cornu (Abschnitt XVI) und J. B. A. Baille (geb. 1841), indem sie im Mittel für △ — so wollen wir den numerischen Wert, der gesucht wird, bezeichnen — 5,53 fanden. Den Umstand, daß eine unterhalb eines Wagebalkens angebrachte, massive Kugel durch ihre Anziehung einen Ausschlag der Zunge zuwege bringt, verwertete 1878 Ph. v. Jolly, der △ = 5,692 erhielt, und indem J. H. Poynting (geb. 1852) an dieser Art der Wägung eine nicht unwesentliche Verbesserung anbrachte, ergab sich ihm △ = 5,4934. Noch intensiver nutzten den gleichen Gedanken aus in den Jahren 1884 bis 1897 Fr. Richarz, A. Koenig (geb. 1856), der sich später ganz psychophysischen Studien zuwandte, und O. Krigar-Menzel; Richarz und Krigar-Menzel veröffentlichten 1898 eine Abhandlung, welche die zahllosen Kautelen einer solchen Experimentaluntersuchung deutlich überblicken läßt. Statt der das Gleichgewicht störenden Kugel verwendeten sie einen ungeheuren Bleiklotz von

parallelepipedischer Form, den ihnen das preußische Kriegsministerium, zusammen mit einer Kasematte in Spandau als Experimentierraum, überlassen hatte. Damals fand sich $\triangle = 5,505$. Auch war man imstande gewesen, die vertikale Abnahme der Erdanziehung für die beschränkte Höhe eines Zimmers als meßbar nachzuweisen. Ungemein exakt ist auch Wilsings (Abschnitt XIV) Versuchsanlage, bei der die Veränderung ermittelt wird, welche in der Bewegung eines schwingenden Doppelpendels eintritt, wenn man ihm einen störenden Körper nähert; der Mittelwert aus Wilsings Beobachtungen belief sich auf 5,579. Sehr geistvoll erdacht, jedoch schwerlich so hoher Genauigkeit fähig sind die Methoden von W. Láska (1889) und Berget (1892), die bei aller Verschiedenheit darin übereinkommen, daß ein mit Flüssigkeit gefüllter Raum eine stärkere Attraktion als ein ungefüllter ausübt. Nach Láskas Angaben wurden messende Versuche anscheinend noch nicht ausgeführt; nach Berget wäre $\triangle = 5,41$ zu setzen. Soviel steht also unter allen Umständen fest, daß der Wert der mittleren Erddichte zwischen 5 und 6 gelegen ist, was Newton schon 1687 ahnend vorausgesagt hatte.

Hinsichtlich der Anordnung der Dichte im Erdinneren haben die Meinungen von jeher geschwankt. Soviel war klar, daß die Dichte der Erdrinde, deren Materialien man ja zum weitaus größten Teile genau kennt, die Zahl 3 nicht überschreiten kann, und infolge dessen mußte eine Zunahme der Dichte mit der Annäherung an das Zentrum angenommen werden. Analytische Gesetze über die Art dieses Wachstums haben 1863 R. O. S. Lipschitz (Abschnitt XV), später G. H. Darwin, Helmert, R. Radau (geb. 1835), Th. Stieltjes (1856—1894), P. J. O. Callandreau (geb. 1852) und, mit ausführlichster Begründung, Stapff aufgestellt. Dafür, daß für die jeweilige Oberfläche eines Individuums aus einer Schar ähnlicher und ähnlich liegender Ellipsoide die Dichte annähernd konstant sei, spricht O. A. A. Tumlirz' (geb. 1856) gelungener Versuch, aus Schwerebeschleunigung und Abplattung das Dichtegesetz abzuleiten. Von der nicht unwahrscheinlichen Hypothese ausgehend, daß die Dichtedifferenzen innerhalb der Erde hauptsächlich in stofflichen Verschiedenheiten begründet

sein möchten, kam in neuester Zeit (1898) E. Wiechert zu dem Schlusse, daß einen namhaften Teil des Erdellipsoides ein Metallkern von Eisendichte einnehme, und zwar folgt aus seinen Rechnungen, daß dieser Kern, vielleicht noch weniger als die Außenfläche der Erde selbst abgeplattet, einen Durchmesser von 10000 km Ausdehnung besitzen könnte.

Nachdem wir so über Gestalt und Größe des Erdballes die dem augenblicklichen Wissensstande entsprechende Orientierung gewonnen haben, werfen wir noch kurz einen Blick auf die Bewegungsverhältnisse. Hier haben aber die Abschnitte V, VI und XV schon großenteils vorgearbeitet; von den neueren Gründen für die Achsendrehung, von der die Revolution augenfällig beweisenden Jahresparallaxe, von Präzession und Nutation, ja sogar (Abschnitt XXII) von den durch das Horizontalpendel signalisierten Pulsationen ist bereits die Sprache gewesen. Es verbleibt uns also nur noch eine Nachlese. Erwähnt darf werden, daß die Beschleunigungen und Hemmungen, welche, wie auch Kant herausgefühlt hatte, auf die Erdumbrehung einwirken, von Robert Mayer, H. Hertz, E. Taegert u. a. in Betracht gezogen worden sind; nach S. Newcomb, Ch. Delaunay und vor allem nach S. v. Glasenapp (Abschnitt XIII) ist die Möglichkeit, daß kleine Irregularitäten der Tagesdauer mit unterlaufen, nicht ganz zu leugnen; doch erheben sich dieselben seit Jahrtausenden keinenfalls über ganz winzige Beträge. Wichtiger ist die Frage, ob die Erdachse, von den erwähnten Bewegungen und von der durch F. J. Ph. Folie (geb. 1833), Niesten und Ronkar seit 1883 lebhaft verteidigten, jedenfalls sehr kleinen Tagesnutation abgesehen, eine stabile Lage hat, oder ob nicht vielleicht, worauf zuerst Bessel (1818) und H. Haedenkamp (1809—1860) (1853) hinwiesen, infolge von Massenumsetzungen eine gewisse Verschiebung der Achse im Inneren des Erdkörpers anzunehmen wäre. Aus älteren Theoremen von L. Euler und Legendre (Abschnitt III) erhellt, daß kontinuierliche Verschiebungen, wie solche nach P. Schwahn und E. A. Lamp durch die Fortführung von Schwemmstoffen in Flüssen oder durch ozeanischen Wasseraustausch zwischen den beiden Erdhemisphären bedingt sein könnten, einen

periodischen konischen Umlauf der augenblicklichen, stets wechselnden Rotationsachse um die ursprüngliche Erdachse bewirken. Diese ältere Theorie bildete G. Schiaparelli („De la rotation de la terre sous l'influence des actions géologiques“, St. Petersburg 1889) mit direkter Beziehung auf die Erde weiter aus, indem er deren Starrheitsgrad durch die von ihm eingeführte Adaptionskonstante numerisch kennzeichnete und die Art und Größe der Achsenverschiebung als Funktion jener Größe ausdrückte. Durch Verbesserung eines älteren Verfahrens der Polhöhebestimmung von Horrebow (Abschnitt XIV), welche dem Amerikaner Talcott verdankt wird, konnte F. Küstner (geb. 1856) die von M. Nyrén (geb. 1837), Wanach und A. Hall an Einzelfällen erkannte, eben auf jene Ursache zurückzuführende Veränderung von geographischen Breiten allgemein verifizieren. Da ersichtlich eine solche Veränderung für zwei um 180° abstehende Erdorte gleich groß ausfallen, aber das entgegengesetzte Vorzeichen tragen muß, so wurden Korrespondenzbeobachtungen zwischen den deutschen Sternwarten und Honolulu, wo A. Marcuse mehrere Monate lang beobachtete, verabredet, und wenn man für Deutschland und Hawaii die Ergebnisse graphisch darstellte, fand sich der Erwartung gemäß, daß beide Kurven sich wechselseitig als Objekt und Spiegelbild zugeordnet waren. Marcuse, der für diesen Zweck ein photographisches Zenitteleskop konstruierte, Kostinsky, Gaillot u. a. haben den Sachverhalt noch eingehender verfolgt, und van de Sande Bakhuyzen wies 1893 nach, daß die Polschwankungen seit 1855 mit den Pegelschwankungen im Hafen von Helder korrespondieren. Die neuesten Untersuchungen hat man von Chandler, M. Gonnessiat, van de Sande Bakhuyzen und vor allem von Th. A. Albrecht (geb. 1843), welch letzterer in fortlaufenden, inhaltreichen Berichten der Gelehrtenwelt die neuesten Fortschritte auf diesem geophysikalisch überaus wichtigen Gebiete bekannt giebt. Die vierzehnmonatliche Periode von Chandler scheint als gesichert angesehen werden zu können, wenngleich darüber, ob dieselbe ganz konstant oder innerhalb gewisser Grenzen selbst wieder veränderlich ist, noch weitere Forschung entscheiden muß.

Die mathematische Geographie im engeren Sinne oder die Lehre von der geographischen Ortsbestimmung wird von obiger Frage natürlich ebenfalls berührt. Neue Methoden der Breitenbestimmung hat unsere Epoche nur wenige zu verzeichnen; neben der Talcottschen verdient insbesondere das Verfahren des amerikanischen Kapitäns Sumner Erwähnung, welches in schwierigen Fällen durch einfache Zeichnung den Schiffsort aufzufinden gestattet. Der Seemann, wie auch der wissenschaftliche Reisende hält sich an die durch Tabellen wesentlich vervollkommnete Bestimmung der Sonnenhöhen im Mittagskreise. Was die geographische Länge anlangt, so herrscht auf hoher See die Methode der Monddistanzen noch immer vor, von J. Challis (1803—1882) auf die vorzunehmenden Korrektionen geprüft (1854), und die Verfertigung guter, tragbarer Uhren oder Chronometer hat sich derart vervollkommnet, daß ein solches Instrument im Uhrenprüfungsinstitute der Hamburger Seewarte, welche den Uhrgang bald in der Temperatur heißer Dämpfe, bald in derjenigen des Eises kontrolliert, nur minimale Unregelmäßigkeiten aufweisen darf. Näheren Aufschluß über diese hochwichtige Seite der Beobachtungskunst erteilt E. Gelcich (geb. 1854) („Die Uhrmacherkunst und die Behandlung der Präzisionsuhren", Wien-Pest-Leipzig 1892). Da, wo Telegraphenlinien zur Verfügung stehen, hat man für die Bestimmung der Zeit- und Längendifferenzen durchweg die Methode der elektrischen Zeitübertragung gewählt, und die Sternwarten Europas sind durch solche Operationen, mit denen man 1851 begann, verbunden worden. J. v. Lamont, K. L. v. Littrow (1811—1877), Bruhns, Th. Albrecht u. a. leiteten diese Arbeiten, die natürlich erst möglich geworden waren, als Mitteleuropa durch die Thätigkeit eines Werner Siemens, A. v. Steinheil, H. Militzer (geb. 1828), K. E. Zetzsche (1830 bis 1894) u. a. von Drähten bedeckt war; neuerdings hat auch die submarine Depeschierung ihr Werk zu verrichten begonnen. Als Normalmeridian gilt bei allen Völkern, bedauerlicherweise die Franzosen ausgenommen, seit Beginn der achtziger Jahre derjenige von Greenwich, für den sich namentlich auch der Deutsche Geographentag des Jahres 1884 erklärte. Der künftige Forschungsreisende findet

über alles, was sein Beruf von ihm erheischt, insbesondere auch über die Anfertigung eines auf Kurs- und Distanzmessungen begründeten Routiers, Rat in G. Neumayers trefflicher „Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen“ (Berlin 1888; 2. Auflage, 1894). Außerdem haben die Ortsbestimmung durch astronomische Beobachtung in selbständigen Werken dargestellt F. F. E. Brünnow (1821—1891) („Sphärische Astronomie“, 5. Auflage, Berlin 1881) und G. D. E. Weyer (1818—1896) („Vorlesungen über nautische Astronomie“, Kiel 1871). Das Ganze des Wissenszweiges, für den auch der Name astronomische Geographie im Umlaufe ist, stellen zusammen die Werke von H. K. E. Martus (geb. 1831) („Astronomische Geographie“, Leipzig 1880), Th. Epstein („Geonomie, gestützt auf Beobachtung und elementare Berechnung“, Wien 1888) und S. Günther (geb. 1848) („Handbuch der mathematischen Geographie“, Stuttgart 1890); ebenso gehört hierher der erste Teil von H. Wagners „Lehrbuch der Geographie“ (Hannover 1894). Als ein Lehrmittel allerersten Ranges darf hier auch das im Jahre 1886 von dem bayerischen Ingenieurhauptmann F. Lingg der Öffentlichkeit übergebene Erdprofil nicht vergessen werden, eine in ungewöhnlich großem Maßstabe mathematisch treu ausgeführte Wiedergabe eines elliptischen, von Skandinavien bis zum Nordrande der afrikanischen Wüste reichenden Meridianbogens mit allen Einzelheiten, welche beim Unterrichte in der mathematischen Erdkunde anschauungsmäßig beachtet sein wollen.

Durch die geradezu großartige Ausbildung der wissenschaftlichen Erforschung fremder Länder hat man von früher unbekannten Orten so viele neue und von bereits vorher bestimmten Plätzen so viele verbesserte Positionen erhalten, daß die Kartenzeichnung, was Vollkommenheit anlangt, ganz ungeheuer derjenigen überlegen werden mußte, die sich vor ungefähr fünfzig Jahren als die in ihrer Art beste darbot. Ein Blick auf die neuen Handatlanten oder auf die zeitgemäß aptierten Atlanten älterer Kartographen, also etwa auf die Werke eines A. Stieler (1775—1836), Th. E. v. Sydow (1812—1873), Andrée-Putzger, Debes und Wagner u. s. w. lassen hierüber auch dem Fernerstehenden

keinen Zweifel; für die Schulatlanten eröffneten H. Wagner und K. Peucker neue Wege. Bei der Herstellung der Karte ist wohl zu unterscheiden zwischen dem rein geometrischen und dem graphisch-ästhetischen Teile der Arbeit; ersterer fällt unter die Kartenprojektions- oder Netzentwurfslehre, während der zweite mit der Terrain- oder Situationszeichnung identisch ist. Die erstgenannte Disziplin, ein erst in neuerer Zeit nach seiner ganzen Bedeutung erfaßtes Grenzgebiet der Mathematik und allgemeinen Erdkunde, hat sich gänzlich aus dem lange Zeit herrschenden Stande einer unsystematischen Sammlung von Kunstgriffen erhoben, denn N. A. Tissot (geb. 1824) entwickelte, auf eine ältere Arbeit von 1861 gestützt, in den Jahren 1878 bis 1880 eine neue Theorie der Abbildung einer geometrischen Fläche auf einer anderen und zeigte, indem er für Längen-, Winkel- und Flächenverzerrung allgemeine Ausdrücke aufstellte, wie man für eine beliebige neue Entwurfsart deren geometrischen Charakter in völlig einwandfreier Weise fixieren kann. Es wird sofort klar, ob eine Projektion äquidistant, konform, äquivalent ist; F. A. Breusing (1818—1892) hat diese Bezeichnungen ins Deutsche übertragen und spricht („Das Verebnen der Kugeloberfläche für Gradnetzentwürfe", Leipzig 1892) von längentreuen, winkeltreuen und flächentreuen Abbildungen. Tissots Methoden sind durch K. Zoeppritz und E. Hammer (Abschnitt XXII) auch in Deutschland heimisch gemacht worden, und auch sonst verbreiteten sich Hammers Arbeiten seit etwa fünfzehn Jahren über alle Zweige der Kartendarstellung. Das zur ersten Einführung vorzüglich erweiterte Werkchen von Zoeppritz (Leipzig 1884) gab 1900 A. Bludau, der sich auch in der Ersinnung neuer Abbildungsarten bethätigte, wesentlich erweitert neu heraus. Italien konnte sich in M. Fiorini (1827—1901) einer Kraft ersten Ranges auf diesem Gebiete rühmen; seine „Projezioni delle carte geografiche" (Bologna 1881) sind ein Meisterwerk, und nicht minder haben seine 1894 veröffentlichten Untersuchungen über die richtigste Manier, die zum Überzuge von Globen bestimmten Streifen zu konstruieren, allseitig Anklang gefunden. In der sehr großen Mehrzahl der Fälle darf die Projektionslehre von der sphäroidisch

geoidischen Gestalt der Erdoberfläche Abstand nehmen; wie man gegebenenfalls derselben Rechnung zu tragen habe, lehrten v. Schmidt und Hammer („Zur Abbildung des Erdellipsoides", Stuttgart 1891). Für die Wiedergabe der Böschungsverhältnisse ist noch immer, zusammen mit der nach A. Steinhauser (1802—1890) um 1770 zuerst auftauchenden Darstellung der Isohypsen oder Niveaukurven, des kursächsischen Ingenieuroffiziers J. G. Lehmann (1765—1811) Schraffenmethode von 1799 im Gebrauche; der plastische Eindruck wird mustergiltig erreicht durch die schiefe Beleuchtung, welche G. H. Dufour (1787—1875), der auch als Heerführer berühmte General, bei seiner Herstellung der großen Schweizerkarte (von 1842 an) zur Geltung brachte. Das Prinzip der farbigen Höhenzonen hat besonders unter den österreichischen Militärtopographen, deren Zwecken das bekannte, hoch verdiente Kartographische Institut in Wien dient, Anhänger gefunden, wie die Namen F. v. Hauslab (1798—1883), V. v. Streffleur (1808 bis 1870), K. A. v. Sonklar (1816—1885) bezeugen. Der theoretischen Seite der kartistischen Farbengebung hat in jüngster Zeit K. Peucker neue Gesichtspunkte abzugewinnen getrachtet.

Mit der Lehre von der graphischen Nachbildung der Bodenformen stehen in enger Beziehung jene topographisch-morphometrischen Untersuchungen, denen ebenfalls die Aufgabe vorgezeichnet ist, regellos erscheinende Raumformen approximativ der Messung zu unterwerfen. Über die Natur von Wasserscheiden und Flußbetten haben so P. E. Breton de Champ (1814—1885), C. Jordan und J. Boussinesq (Abschnitt XV) gehandelt; mathematische Formeln für die mittlere Böschung besitzt man von S. Finsterwalder (1890). Einen ernsten Versuch, Mitteltiefen von Meeren und Mittelhöhen von Kontinenten auszurechnen, wagte als der erste A. v. Humboldt (1842), und dieser Versuch der Begründung einer stereometrischen Geognosie hat viele Nachfolger gefunden, unter denen besonders v. Sonklar („Allgemeine Orographie", Wien 1872), Penck, F. Heiderich und Peucker für das Festland, O. Krümmel, G. v. Boguslawski (Abschnitt XIII) und H. Karstens für die Ozeane angeführt werden sollen. Die umfassende Revision

H. Wagners (1895), welche die älteren Zahlwerte von G. Leipoldt, De Lapparent, Murray, v. Tillo (1839—1900), Penck, Supan u. a. kritisch prüft, gipfelt in der Ansetzung eines Mittelwertes von 700 m für die Gesamtlandmasse der Erde, des Landblockes, der eher zu klein als zu groß ist; die mittlere Vertikalausdehnung des Wasserblockes ist dagegen nach Karstens (1894) auf 3496 m zu veranschlagen. Die mühsamen Rechnungen dieser Art kürzt man sich sehr wesentlich ab durch Verzeichnung der batho- und hypsographischen Kurven im Sinne von Penck und E. Brückner. Näherungszahlen für Volumina — Berge, Gebirge, Festlandsmassen — zu ermitteln, hat sich zuerst, bergmännischen und bautechnischen Vorbildern (Erdbewegung) folgend, K. F. E. v. Kořistka (geb. 1825) angelegen sein lassen („Studien über die Methoden und die Benützung hypsometrischer Arbeiten", Gotha 1865), und so entstand die jetzt in der Geographie fast allzu eifrig gepflegte — weil eine nahezu unübersehbare Zahlenfülle schaffende — Orometrie, deren wissenschaftliche Stellung Penck, L. Neumann, Peucker, Ricchieri, v. Kövesligethy zu präzisieren bestrebt waren. Auf Hohlräume übertrug diese Rechnungsmethoden zuerst Penck („Morphometrie des Bodensees", München 1894).

Indem wir uns jetzt der speziellen Geophysik zuwenden, werfen wir zuerst die Frage nach der Beschaffenheit des Erdinneren auf. Hierüber geben uns, von theoretischen Betrachtungen über den sich in gewissen Himmelserscheinungen offenbarenden Starrheitsgrad der Erde abgesehen, hauptsächlich die internen Wärmeverhältnisse Aufschluß. Man weiß heutzutage mit Sicherheit, daß nur eine sehr dünne, äußerste Rindenschicht den solaren Einwirkungen ausgesetzt ist; wie sich so die Wärmebewegung im Erdboden gestaltet, darüber haben wir theoretische Untersuchungen von J. v. Lamont, L. A. J. Quetelet (Abschnitt VI), J. Hann, H. Wild (geb. 1833) und besonders (1892) von Adolf Schmidt in Gotha, Beobachtungsreihen von E. Dorn und E. Mischpeter, E. Leyst und Th. Homén; M. J. Maurer (geb. 1857), der besonders die Probleme der Ein- und Ausstrahlung sich vorbehalten hat, spricht Homéns Untersuchungen einen sehr hohen Wert zu. In kalten Ländern hört die Insolation

schon in geringer Tiefe fühlbar zu werden auf. Die Grenzlinie des Eisbodens bestimmte H. Fritz (Abschnitt XIV); nachdem von 1893 an W. M. Sergejew Bodenbeobachtungen längs der Trace der sibirischen Pazifikbahn angestellt hat, deren Ergebnisse 1899 F. Immanuel in Deutschland verbreitete, steht fest, daß in ganz Transbaikalien, mag auch die Polhöhe eine ziemlich niedrige sein, eine Bodenlage zwischen 3,28 und 9,28 m Tiefe niemals auftaut. Jenseits der sogenannten neutralen Fläche aber beginnt sich ausschließlich die innere Erdwärme fühlbar zu machen, von der nach F. Henrichs Untersuchungen (1876), die sich an die Temperaturmessungen im Sperenberger Bohrloche anlehnen, anzunehmen ist, daß sie in der einfachen Formel (a + bt) — a und b konstante Größen, t Tiefe — ihr Fortschreitungsgesetz findet. Durch Stapff, J. A. Church (geb. 1843), Prestwich, Köbrich, Hottenroth und am meisten durch W. B. R. H. v. Dunker (1809—1885) sind wir in Besitz eines gewaltigen Zahlenmateriales gelangt; sehr merkwürdige, teilweise von der Regel abweichende Daten ergab die nach dem Mineningenieur Th. B. Comstock (geb. 1849) benannte Silbergrube im westlichen Nordamerika. Aus den über den geothermischen Gradienten gefundenen Werten muß geschlossen werden: In den zentralen Partien der Erdkugel waltet eine Hitze ob, welche alle im Bereiche menschlicher Erfahrung liegenden Grade ungeheuer übersteigt. Über den Druck in den äußeren Rindenteilen liegen, wie bemerkt, die Studien von Helmert und Weihrauch vor, und die Druckverhältnisse des Inneren suchte 1882 A. J. F. Seydler (1849 bis 1891) aufzuklären. Freilich legte er die Voraussetzung einer starren Kugel zu Grunde, und ob unser Planet als eine solche aufgefaßt werden darf, ist zur Zeit noch eine offene Frage.

Es ist auf Grund der freilich nicht durchaus einwurfsfreien Ergebnisse, welche die Berechnung der Präzession, der Nutation und der elastischen Beanspruchung der Erdfeste durch die Anziehung von Sonne und Mond lieferte, behauptet worden, die Erde könne an Unnachgiebigkeit nur mit Stahl oder gar mit Glas verglichen werden. Hopkins, W. Thomson, G. H. Darwin, J. G. Barnard (1815—1882) halten an dieser Überzeugung fest,

und auch Schiaparellis Adaptionslehre bekräftigt dieselbe. Indessen ist damit wohl zu vereinbaren die zumal durch A. Ritter und Zoeppritz (1881) vertretene und neuerdings von vielen Fachmännern — Penck, Reyer, J. N. Woldřich u. a. — mit neuen Gründen belegte Ansicht, daß im Erdinneren alle denkbaren Aggregatzustände in stetiger Aufeinanderfolge vertreten seien: damit würde sich auch Wiecherts Bestimmung für die Dichte der zentralen Partien vereinbaren lassen. Ein nicht kleiner Hohlraum um den Mittelpunkt herum würde dann nämlich, wie schon B. Franklin und Lichtenberg (Abschnitt VI) ahnten, und wie H. Spencer (geb. 1820) es neuerdings wieder wahrscheinlich zu machen gesucht hatte, als mit Gasen im überkritischen Zustande, wo nicht als mit einem Urgase von einatomiger Beschaffenheit angefüllt gedacht werden müssen, und dem gewaltigen Drucke dieser nach Individualisierung strebenden Gasmasse würde eine namhafte Dichte entsprechen. Ganz unvereinbar aber würde mit Wiecherts u. a. Ermittlungen die namentlich in England verbreitete und in O. Fishers (geb. 1817) sonst mustergiltig klar gearbeiteter „Physics of the Earths Crust“ (2. Auflage, London-Newyork 1889) systematisch dargelegte Hypothese sein, daß jenseits einer dünnen Felsrinde ein magmatisches Glutmeer die Erde erfülle — so etwa, wie dies auch die unglückliche Lehre Falbs verlangt. Wie man darüber auch denken möge, so viel ist experimentell außer Zweifel gestellt, daß die Erstarrung des terrestrischen Gasballes nicht vom Mittelpunkte aus, sondern allein von der Oberfläche beginnen und nach innen fortschreiten konnte. Eine treffliche Versuchsreihe von F. Nies (1839—1895) und A. Winkelmann hat 1881 erwiesen, daß alle Silikate und nahezu alle Metalle, wenn sie aus feurigem Flusse erstarren, am spezifischen Gewichte abnehmen, so daß sie also auf dem Glutbrei schwimmen und nicht in ihm untersinken können. Auch die Beobachtungen anderer Physiker und Mineralogen kommen auf dasselbe hinaus.

Der Erdkörper, dessen gestaltliche und materielle Verhältnisse uns in diesem Abschnitte bisher beschäftigten, ist auch, wie dies in Abschnitt VI und XIV bereits Gegenstand der Besprechung war, ein magnetisches Magazin, und indem die Bewegungen der ein-

zelnen Weltkörper das magnetische Erdfeld zu anderen Feldern in Beziehungen bringen, die nach Lage und Art der Kraftverteilung wechseln, treten jene eigenartigen periodischen und unperiodischen geomagnetischen Schwankungen zu Tage, die den früheren Zeiten ein Rätsel bleiben mußten und auch jetzt noch keineswegs endgiltig geklärt sind. Wenn wir zunächst von den Methoden zur Bestimmung der Absolutwerte der drei Elemente Deklination, Inklination und Intensität sprechen, so können wir anführen, daß die indirekten, welche im Sinne der in Abschnitt XVI gegebenen Nachweisungen die Erdinduktion nutzbar machen, jetzt besonders beliebt geworden sind. Eine generelle Theorie des Erdinduktors gab 1882 K. J. E. Schering (geb. 1854), der jüngere Bruder E. C. J. Scherings (geb. 1833), des Vorstandes der magnetischen Abteilung in der einst von Gauß geleiteten Göttinger Sternwarte. Wilhelm Weber, Heinrich Weber, Leonhard Weber, Ludwig Weber schufen Apparate zur leichten Ablesung von Neigung und Stärke, und Edelmanns Werkstätte (Abschnitt XVI) stellte die Instrumente in tadelloser Ausführung zur Verfügung. W. Schaper führte, was Stefan nur angeregt hatte, die Verbesserung der Strommessung durch Einführung eines Telephons, durch, und von H. Wild und A. Toepler wurde die Intensitätsbestimmung mit neuen Gedanken befruchtet. Immerhin hat man auch die alten Nadelapparate durchaus nicht gänzlich verlassen, und zumal E. Leyst trat 1887 energisch für die Wiederverwendung des — durch Borda und A. v. Humboldt zu Ehren gekommenen — Nadelinklinatoriums ein. Zusammenfassende Darstellungen der geomagnetischen Messungspraxis gaben Airy („Treatise on Magnetism", London 1871; deutsch von Tietjen, Berlin 1874) und J. Liznar (geb. 1852) („Anleitung zur Messung und Berechnung der Elemente des Erdmagnetismus", Wien 1833); eine für ihre Zeit abschließende Theorie der Inklination ist von E. Hutt (Brandenburg 1874 und 1884) veröffentlicht worden. Auch fällt in unseren Zeitraum das zweite der großen Werke J. v. Lamonts („Handbuch des Magnetismus", Leipzig 1867), dessen Inhalt allerdings nur zum Teile der tellurischen Physik angehört.

Magnetische Landesaufnahmen werden auch in unseren Tagen noch immer inszeniert. Im deutschen Reiche hat allerdings die offizielle Thätigkeit einigermaßen nachgelassen; doch wurden von Hammer in Württemberg, von Schaper und A. Schück für Ost- und Nordseeküste dankenswerte Messungen ausgeführt. Österreich-Ungarn steht gegenwärtig obenan, weil daselbst Liznar Kreils Werk thatkräftig fortführt. Frankreich hat durch die Obsorge Moureaux' eine magnetische Kartierung erhalten; Großbritannien erfreut sich der umfassenden Aufnahmen von Th. E. Thorpe (geb. 1845) und A. W. Rücker (geb. 1848); das russische Reich ist durch Wild, Leyst, H. Fritsche (geb. 1839), der auch in Zentralasien und Peking beobachtete, gründlichst studiert worden; für Skandinavien kommen vorzugsweise L. A. Forßmans (geb. 1842) Beobachtungen in Betracht. Sehr genau sind wir, dank Weyprechts Zirkumpolarstationen, über die arktischen Verhältnisse unterrichtet, und für die Antarktis war unermüdet Neumayer thätig. Neue Beobachtungsstationen wurden in den letzten Jahren an vielen Orten errichtet: genannt seien nur Potsdam (Abschnitt XIV) und Bogenhausen, wo A. v. Schwarz, vordem in Turkestan mit dem Studium der geophysikalischen Zustände beschäftigt, die Arbeiten v. Lamonts und seines unzertrennlichen Hilfsarbeiters Ch. Feldkirchner (1823—1866) seit 1896 wieder aufgenommen hat. Allen im Bannkreise großer Verkehrszentren gelegenen Observatorien ist jedoch ein gefährlicher Feind in der Gestalt der elektrischen Trambahnen erstanden: die vagabundierenden Ströme wirken, wie A. Voller, J. Eder, K. T. Fischer zeigten, empfindlich störend ein und machen zwar, wenn die uns bekannten Galvanometer mit feststehenden Magneten verwendet werden, nicht gerade die elektrischen Messungen, wohl aber feinere Untersuchungen über den Erdmagnetismus unmöglich. Früher galt es bloß, die magnetischen Warten an Orten anzulegen, welche der lokalmagnetischen Nebenaktion unzugänglich waren; heutzutage bedarf es, wie wir sahen, noch weiterer Vorsichtsmaßregeln. Solcher bedarf nicht minder die Nautik wegen der Kompaßablenkung auf Eisenschiffen. Wie man diese erkennen und unschädlich machen kann, zeigten Airy, F. v. Schaub (1817—1871), F. Paugger (geb. 1833), R. Dittmer und Rottok.

Der Gesteinsmagnetismus, auf den man nach J. G. H. Hellmanns (geb. 1854) Forschungen bereits im 16. Jahrhundert aufmerksam geworden war, wurde in neuerer und neuester Zeit sehr eingehend studiert, nachdem zuerst A. v. Humboldt und G. Bischof die Notwendigkeit solcher Studien betont und an drastischen Beispielen den starken Eisenmagnetismus solcher Gesteine, vorab der Laven, kennen gelernt hatten. G. Folgheraiter und Ph. Keller in Rom, denen sich noch zahlreiche andere Italiener anreihten, lieferten uns eine Fülle von Daten, die auch des theoretischen Interesses nicht ermangeln. Inwiefern der Gebirgsmagnetismus, über den E. Naumann in Japan und van Rijkevorßel in Niederländisch-Indien ausgedehnte Erfahrungen gesammelt haben, mit dem Verborgensein eisenhaltiger Gesteine zusammenhänge, steht noch dahin; Thorpe und Rücker haben sich zu gunsten der letzteren Annahme ausgesprochen, wogegen Naumann („Die Erscheinungen des Erdmagnetismus in ihrer Abhängigkeit vom Bau der Erdrinde", Stuttgart 1887) tektonische Motive für die in der Nähe mancher Gebirge erkennbaren Unregelmäßigkeiten im Auftreten der magnetischen Erdkraft verantwortlich machen will. Alle Gebirge weisen solche Anomalien nicht auf; dahin gehört z. B. der von M. Eschenhagen, dem Leiter der magnetischen Abteilung des Potsdamer Institutes, durchforschte Harz, obwohl in der Regel Schwerestörungen und magnetische Störungen vereint auftreten. Vielleicht rührt dies davon her, daß der Harz ein uraltes Gebirge ist, während bei viel später gestörten, gefalteten, geknickten Rindenpartien die subterranen Kräfte, wie man wohl annehmen darf, sich noch nicht vollkommen zur Ruhe begeben und das Gleichgewicht wiedergefunden haben. So möchte auch P. Andries an Ablenkungen jener elektrischen Erdströme appellieren, die durch J. v. Lamont („Der Erdstrom und der Zusammenhang desselben mit dem Magnetismus der Erde", Leipzig 1862), R. Wolf, E. Schering, H. Wild, P. E. Müller u. a. in ihrem oft rätselhaften Verhalten verfolgt wurden, und deren Theorie in allerneuester Zeit (1900) von B. Weinstein monographisch dargestellt ward. Bei Bergbesteigungen gewährt das von O. E. Meyer ersonnene Gebirgsmagnetometer die Möglichkeit, sich über die

auch von A. v. Humboldt, P. Erman, Quetelet, Bravais, Messerschmitt u. a. bemerkte Höhenvariation der magnetischen Elemente ein Urteil zu bilden; nach Sella, van Rijkevorßel und van Bemmelen kann eine Abnahme der Horizontalkomponente mit der Höhe als sichergestellt gelten. Gewißheit über die Ursache dieser Abnahme werden wir freilich erst dann erhoffen dürfen, wenn auch im Luftballon, wie dies Eberts Versuche glaublich machen, exaktere geomagnetische Beobachtung Platz greifen kann.

Die Periodizität der Äußerungen dieser Erdkraft gehört auch zu den nichts weniger denn vollständig aufgeklärten Erscheinungen. Das Deflexionsmagnetometer von K. Schering und das Variometer von F. Kohlrausch sind vielfach an die Stelle der älteren Kontrollapparate getreten, und außerdem wird auch vom Prinzipe der photographischen Selbstaufzeichnung umfassender Gebrauch gemacht. Um die säkulären Veränderungen in den Offenbarungen der Erdkraft bequemer überblicken zu können, muß man vertrauenswerte Notizen und Karten aus älterer Zeit sammeln, wie dies namentlich van Bemmelen und v. Tillo erfolgreich thaten, und mit deren Hilfe lassen sich dann Interpolationsformeln aufstellen, um von einer gegebenen Epoche aus rückwärts die Werte der drei Elemente zu berechnen. F. Kohlrausch und Oberbeck haben uns solche Formeln gegeben, und mit ihrer Hilfe kann auch die Wanderung der Magnetpole bis zu einem gewissen Grade revidiert werden, deren Lage übrigens nach K. L. Menzzers (geb. 1816) mühsamer Untersuchung (1871) auch durch die Verteilung von Wasser und Land in den beiden Eiskalotten einigermaßen bedingt zu sein scheint. Die innigen Beziehungen der magnetischen Tagesschwankung zur Fleckenfrequenz der Sonne haben uns schon in Abschnitt XIV beschäftigt.

Wenn auch von der Theorie des Erdmagnetismus ein Wort gesagt werden soll, so ist vor allem darauf zu verweisen, daß darunter ein Doppeltes zu verstehen ist. Auf der einen Seite gilt es, da die Euler-Hansteensche Magnetstabtheorie (Abschnitt VI) gänzlich verlassen worden ist, im Geiste von Gauß, ohne Zuhilfenahme irgend einer Hypothese, weiterzuarbeiten und durch Reihen-

entwicklung der Potentialfunktion nach Maßgabe von Abschnitt III Näherungswerte zu erhalten, die dann selbst wieder die drei Komponenten der magnetischen Erdkraft und durch diese die drei gebräuchlichen Elemente liefern. Weitaus die größten Verdienste kommen in dieser Hinsicht dem mathematischen Talente und der unerschrockenen Rechenvirtuosität Adolf Schmidts zu, dem die treffliche Neumayersche Karte der magnetischen Potentialverteilung wesentlich mit zu danken ist. Weitere Förderung der theoretischen Fragen, die auch wegen ihrer Verwandtschaft mit den Problemen der Gravitation und der Hydrodynamik Beachtung erheischen, ergaben die Arbeiten von A. Korn, v. Tillo, W. v. Bezold, R. v. Eötvös. Die andere Seite der Theorie ist nicht minder eine vollberechtigte; es kommt darauf an, die physikalische Erscheinungsform auf bekannte Thatsachen zurückzuführen. Daß sogar die Planeten einigen Einfluß äußern, hält Leyst für eine ausgemachte Sache, und auch der Mond ist seit Kreils Untersuchung von 1853 solcher Beeinflussung sehr verdächtig; für die Sonne aber, die nach K. Hornstein (1824 bis 1882), Ad. Schmidt und J. A. Broun (1817—1879) schon durch ihre Achsendrehung die magnetischen Elemente zu periodischer Änderung veranlaßt, steht es außer Zweifel, daß ihre thermische und magnet-elektrische Aktion in den magnetischen Zustand unserer Erde kräftigst eingreift. Die Einzelhypothesen von Cornu, Quet, J. Odstrčil (1837—1888), Werner Siemens u. a. können hier keiner Detailerörterung teilhaftig werden. Es ist ferner A. Schuster (Abschnitt XIV) gelungen, durch geschickte Verwendung der von H. Lamb (geb. 1849) für die Induktion elektrischer Ströme in leitenden Kugeln gegebenen Ausdrücke in den erwähnten Gaußschen Reihen eine Sonderung der rein tellurischen und der extratellurischen Einwirkungen zu bewirken. Wie man also auch über die primäre Ursache des Erdmagnetismus denken, ob man sie mit v. Lamont als eine unverrückbare Thatsache hinnehmen oder mit Edlund in der unipolaren Induktion auf der rotierenden Erde (Abschnitt VIII) finden mag, Eines steht heutzutage fest: In den Schwankungen des magnetischen Erdpotentiales spiegelt sich die Ver-

änderlichkeit des elektrischen Sonnenpotentiales wieder. Die Forschung schreitet auf dem mit Glück betretenen Wege rüstig weiter fort und konzentriert sich mehr und mehr in der einzigen, ausschließlich dem Erdmagnetismus gewidmeten Zeitschrift, welche A. Bauer in Chicago, unterstützt von den Fachmännern aller Nationen, seit einigen Jahren herausgiebt.

Mit den theoretischen Anschauungen über das Wesen der magnetischen Erdkraft hängt innigst zusammen die Auffassung, die man sich über das Polarlicht zu bilden hat. Unser empirisches Wissen von diesem großartigen Phänomene hat durch die Beobachtungen Weyprechts, v. Nordenskiölds, Nansens, Baschins und vieler anderer beträchtlich zugenommen, und insbesondere ist man durch W. Bollers Abhandlungen (1898) in den Stand gesetzt worden, Nord- und Südlicht miteinander vergleichen und neben den selbstverständlichen Übereinstimmungen in den großen Zügen auch die kleineren Verschiedenheiten konstatieren zu können, die sich nicht verkennen lassen. Die alte Doktrin, daß die Polarlichter nichts als Reflexionsbilder, ein Eisblink großen Maßstabes, seien, hat sich wohl auch neuerdings noch gelegentlich — A. Wolfert (1874) — hervorgewagt, aber ein längeres Dasein hat sie sich nicht mehr zu erwerben vermocht, vielmehr ist man darüber einig, daß Magnetismus und Elektrizität mit dieser optischen Erscheinung in enge Kausalverbindung gebracht werden müssen. Stets wieder bestätigt wird die Thatsache, daß die äußerlich in die Augen fallende Konvergenzstelle des strahlenden Nordlichtes, die Korona, in der Verlängerung der Achse der Neigungsnadel gelegen ist; nicht minder steht fest, daß sich ungemein häufig mit den Polarlichtern zeitlich jene merkwürdigen Unruhezeiten der Nadel, die magnetischen Stürme paaren, deren Entstehung Ad. Schmidt (1899) in geistvoller Weise den großen Wirbelbewegungen der Atmosphäre zur Seite gestellt hat. Auch das letzte, etwa noch vorhandene Bedenken schaffte die Thatsache aus der Welt, daß es 1883 dem in der Lehre vom Polarlichte einen Ehrenplatz einnehmenden Finländer K. S. Lemström (geb. 1838) gelang, auf dem Berge Oratunturi durch eine sinnvolle Blitzableiterkombination einen Lichtschimmer zu erzeugen, der, zwar weitaus schwächer, gleichwohl im Spektroskope

die charakteristische Nordlichtlinie deutlich hervortreten ließ und dadurch seine wahre Natur zweifellos dokumentierte. S. Tromholt (1851—1896) hat diese Versuche mit Erfolg wiederholt. In morphographischer Hinsicht ist zu erwähnen, daß H. Fritz die Isochasmen oder Linien gleicher Polarlichthäufigkeit verzeichnete, daß v. Nordenskiöld die Modalitäten des Auftretens eines Strahlen werfenden oder eines Draperie-Nordlichtes als von der geographischen Lage des Beobachtungsortes bedingt nachwies, und daß in neuester Zeit O. Baschin mit der photographischen Abbildung des Polarlichtes, an der seiner Lichtschwäche halber gezweifelt worden war, glücklich zustande kam. Die systematische Forschung kann gegenwärtig von zwei sehr verdienstlichen, auch an selbständigen Beiträgen zur Förderung unserer Erkenntnis nicht armen Kompendien ausgehen, welche Fritz („Das Polarlicht", Leipzig 1881) und Lemström („L'aurore boréale, étude générale des phénomènes produits par les courants électriques de l'atmosphère", Paris 1886) geschrieben haben.

Da die älteren Hypothesen, welche die Polarlichter im Sinne Rob. Mayers und A. A. De la Rives als eine der Reibungselektrizität zuzuweisende Erscheinung definierten, kaum mehr ernsthaft in Frage kommen, so stehen sich wesentlich nur noch zwei Gruppen von Theorien gegenüber, je nachdem auf den Ausgleichungsprozeß oder auf die Bestrahlung besonderer Nachdruck gelegt wird. E. A. G. Wijkander (geb. 1849), E. Hoppe, der die spektroskopische Ähnlichkeit mit dem elektrischen Büschellichte betonte, Ångström, Edlund, Angot u. a. stimmen bei manch sonstiger Verschiedenheit darin überein, daß zwischen den entgegengesetzten Elektrizitäten von Luft und Erde eine langsame Ausgleichung stattfinde, die graduell zwar sehr, qualitativ aber kaum vom St. Elmsfeuer und Gewitter abweiche und in dem Farbenspiele der stark verdünnten Gase in Geißlerschen Röhren ein Analogon finde. Die in manchen Punkten gegnerische Stellung von Lemström, Trowbridge, J. R. Capron (geb. 1829) mißt den Fluoreszenzeigenschaften des Nordlichtes die maßgebende Bedeutung bei, aber auch in diesem Lager wird nicht minder das Kursieren elektrischer Ströme als auslösende Ursache



Adolf Erik v. Nordenskiöld

betrachtet. Die durch schöne Experimente unterstützte Ansicht Eberts, daß sich magnetische Kraftlinien (Abschnitt XI) durch den luftverdünnten Raum hindurchziehen und in strahligen Lichtgebilden sichtbar werden, muß auch noch diesem Komplexe der Ausgleichstheorien eingeordnet werden. Der wohlbekannte dänische Magnetiker A. Paulsen andererseits macht bei den in Abschnitt XVI besprochenen Arbeiten über Licht und Elektrizitätserregung eine Anleihe, verwertet für sich die von Hertz, Arrhenius und A. Stoletow (1839—1896) gewonnenen Resultate bezüglich der Auslösung elektrischer Ströme durch ultraviolette Strahlen und faßt („Sur la nature et l'origine de l'aurore boréale", Kopenhagen 1894) seine Schlüsse etwa in folgender Formulierung zusammen: Das Polarlicht ist eine durch Absorption solarer Energie entstandene Fluoreszenzerscheinung der oberen atmospärischen Schichten, und erst durch deren Zustandekommen wird unsere Lufthülle elektrisch erregt. Es wird der Forschung der nächsten Jahre überlassen bleiben, zu entscheiden, wie die Rollen eines primären und eines sekundären Faktors in der Gesamtheit der Polarlichtphänomene zwischen Strahlung und Elektrizität zu verteilen sind.

Indem wir so dem Bereiche der Lufterscheinungen überhaupt nahe gekommen sind, nehmen wir den Faden unserer Mitteilungen über die Entwicklungsgeschichte der atmosphärischen Physik da auf, wo wir ihn im sechsten Abschnitte fallen lassen mußten. Wir unterscheiden, den Werdegang der Wissenschaft genau beobachtend, zwischen Meteorologie im engeren Sinne, der Lehre von den allgemeinen Eigenschaften der Luft und den sich in ihr vollziehenden Bewegungen, und zwischen Klimatologie, der im Gegensatze zu ersterer „den ruhenden Pol in der Erscheinungen Flucht" suchenden Disziplin. Wenn wir bedenken, daß diese beiden schwesterlichen Wissenszweige einen ungeheueren Umfang und eine nicht minder beträchtliche Tiefe des Inhaltes in überraschend kurzer Zeit angenommen haben, daß ihre Litteratur ganz besonders vielverzweigt ist, und daß allein Deutschland drei periodische Organe, die „Meteorologische Zeitschrift" — seit 1885 Nachfolgerin der „Zeitschrift der österreichischen Gesellschaft für Meteorologie" —,

R. Aßmanns „Wetter“ und die der Deutschen Seewarte in Hamburg unterstellten „Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie“, sein eigen nennt, so werden wir die Schwierigkeit, auf kleinem Raume einer noch dazu so rasch fortgeschrittenen Summe von Erkenntnissen gerecht zu werden, vollauf würdigen.

Meteorologische Observatorien hat die Neuzeit zahlreich entstehen sehen, und zwar sind dieselben, wie zahlreiche Publikationen des Amerikaners Rotch, des Spezialisten der Bergstationen, bekunden, großenteils auf Hochgipfeln angelegt worden. Die höchst gelegene überhaupt krönt den peruanischen Andengipfel Chachani, die höchste europäische den Montblanc (Abschnitt XIV). Um die Verschiedenheit zwischen der freien Atmosphäre und derjenigen, welche Bergspitzen umspült, klar hervortreten zu lassen, operieren die Meteorologen auch gerne mit dem Frei- und Fesselballon, sowie mit Drachen, welche Registrierinstrumente tragen und zweifellos ein wertvolles Untersuchungsmittel der Folgezeit abgeben. Bis 3500 m Meereshöhe sind diese Drachen schon zum öfteren aufgestiegen. Hohen Nutzen gewährt die Veranstaltung von Korrespondenzfahrten, die von verschiedenen Orten aus ins Werk gesetzt werden; das größere Werk über die meteorologische Nutzbarmachung der Aëronautik (1900), welches v. Bezold als Leiter des k. preußischen Meteorologischen Institutes, zusammen mit Berson, Baschin u. a. herausgab, gewährt einen ausgebreiteten Einblick in diese neue Seite der meteorologischen Technik. Neue Instrumente und Beobachtungsmethoden hat die Zeit seit 1850 natürlich auch in Menge entstehen sehen. Genannt seien die Universalautographen von A. G. Theorell (1834—1875), F. van Rysselberghe (1846 bis 1893) und L. Cerebotani; die überaus handlichen, von den Ballonfahrern fast ausschließlich verwendeten barischen und thermischen Selbstregistratoren der Firma Richard in Paris; der Wagebarograph von A. W. T. Sprung (geb. 1848), den K. Scheel (1895) als mit ganz minimalen Fehlern behaftet nachwies, das Kapillarbarometer von Melde (1887) und endlich das den „Cartesianischen Taucher“ verwertende Volumenbarometer von K. T. Fischer (1898). Die Aneroid- oder Holosterikbarometer, sehr geschätzt wegen der für Reisende einzig dastehenden

Handlichkeit, aber nicht ganz von den Mängeln der elastischen Nachwirkung (Abschnitt XV) zu befreien, wurden seit Vidi (1847) in den verschiedensten Formen hergestellt, so von P. Bourdon (1779—1854), Naudet, J. Goldschmidt (1815—1876); theoretisch förderten die Sache der Federbarometer A. P. Schreiber (geb. 1848), W. Jordan, Hoeltschl und v. Bauernfeind, der die Genauigkeit einer barometrischen Höhenmessung durch Zahlen ausdrückte, je nachdem Quecksilber- oder Metallbarometer mitgewirkt hatten. Zur bequemen Kontrollierung der stetigen Veränderungen des Luftdruckes mittelst der für ähnliche Zwecke überhaupt nicht wohl zu übertreffenden Poggendorffschen Spiegelablesung verhilft das von Roentgen angegebene Variometer. Die Höhenformel behandelten G. S. Ohm, L. Sohncke, W. Koeppen, Radau, A. Pick, J. M. Pernter (geb. 1848), W. Jordan, vor allem aber v. Bauernfeind und M. R. Rühlmann (geb. 1846), letzterer in einer Originalmonographie (Leipzig 1870), während Zoeppritz und M. F. Kunze (geb. 1833) mit Zugrundelegung der Regnaultschen Tabellen (Abschnitt VIII) es dahin brachten, daß der Kochapparat bei allen Forschungsreisenden zur Kontrolle der barometrischen Messungen seine Dienste thut. Untersuchungen über die wissenschaftliche Hygrometrie stellten E. F. August (1795—1870), Ferrel, L. A. Großmann (geb. 1855) und O. Edelmann an, und zumal das Schleuderpsychrometer hat sich durch Aßmanns Fürsprache rasch eingebürgert. Für die Windmessung durch Anemometer, deren Angaben sich meist auf die sogenannte Beaufort-Skale beziehen, findet man auf den Observatorien im durchgängigen Gebrauche das Schalenkreuz von Th. R. Robinson (1792—1882), die durch den Windstoß zu hebende, um eine horizontale Achse drehbare Windstärketafel von Wild und den Rotationsapparat von Recknagel. Die Regenmessung vollzieht sich überall nach einem sich ganz von selbst verstehenden Grundsatze; doch giebt es auch ombrische Selbstaufzeichner von Hellmann und Rung. Die Neuzeit unterscheidet auch die Art der gefallenen Hydrometeore und verlangt unter Umständen die Messung der Tiefe des Schnees durch das Langsche Schneepegel. Noch immer zu wünschen läßt die Verdunstungs-

messung übrig, obwohl es eine Unzahl von Atmo- und Evaporimetern giebt; immerhin konnten E. W. Ebermayer, Wollny und D. Ragona (1820 — 1892) ziemlich sichere Schlüsse auf die Quantität des unter verschiedenen Umständen auf der Erde verdunstenden Wassers ziehen. Zusammenfassende Werke über die atmosphärischen Feuchtigkeitsverhältnisse stehen noch aus, indem nur P. Cantonis (geb. 1844) gedrängtes, aber doch sehr brauchbares Lehrbuch („Igroscopi, igrometri, umidità atmosferica“, Mailand 1887) zu erwähnen sein möchte. Das meteorologische Instrumentarium hat sich neuerdings noch vermehrt durch die zur Beobachtung des Wolkenzuges dienenden Nephoskope und die Sonnenscheinautographen („Sunshine-Recorder“) von welchen die Typen von J. Maurer und W. Jordan die bekanntesten sind.

Über die atmosphärische Elektrizität, welcher Palmieris, F. Exners und W. Thomsons zu scharfer Spannungsmessung geeignete Apparate zu gute kommen, hatten wir schon in Abschnitt XVI und XVII Mitteilungen zu machen, welche uns jetzt tieferen Eingehens in die Sache überheben. Weder die Verdampfungs- noch die Kondensationshypothese vermögen einen ganz triftigen Grund dafür zu liefern, daß zu allen Zeiten und an allen Orten ein elektrisches Luftpotential vorhanden ist; die Theorie von Arrhenius dagegen, welche die Luftelektrizität in der uns vom Nordlichte her bekannten Weise durch Bestrahlung entstehen läßt, indem die ursprünglich einen Isolator darstellende Luft selbst zum Leiter würde, kann wenigstens für die oberen Schichten eine zureichende Erklärung an die Hand geben. Die verwickelten Bedingungen dieser Erregung haben mustergiltig Elster und Geitel geklärt, die beiden Gelehrten, deren Verdienste um diesen Teil der Meteorologie (Abschnitt XX) kaum hoch genug veranschlagt werden können. Sie haben auch wesentlich, zusammen mit v. Obermayer und Haltermann, die Ausströmungserscheinung, welche man St. Elmsfeuer nennt, unter neuen Gesichtspunkten erforscht, und ihre durch neuere Luftfahrten voll bewahrheitete Lehre von den freien Ionen in der Atmosphäre verspricht, wie wir sahen, ganz neue Aufschlüsse über die Natur der Gewitter. Für diese gilt nach wie vor des berühmten norwegischen Meteorologen H. Mohn (geb. 1835) im

Jahre 1874 vorgeschlagene Trennung in Wärme- und Wirbelgewitter. Die Ansicht Sohnckes und G. Luvinis (geb. 1818), daß Reibung zwischen flüssigem und festgewordenem Wasser, bei starker Senkung der Isothermfläche Null, die eigentliche Triebfeder des elektrischen Entladungsprozesses sei, zählt wohl die meisten Fachmänner zu ihren Anhängern, obwohl auch die von Spring, Fick und H. J. Klein um 1880 betonte Spannungsvermehrung, welche der bisher auf viele kleine Wasserkügelchen verteilten Elektrizität durch die Koagulation zu teil wird, nicht außer acht zu lassen sein wird. Das sehr empfehlenswerte Lehrbuch A. v. Urbanitzkys („Die Elektrizität des Himmels und der Erde", Wien-Pest-Leipzig 1888) umfaßt leider die neueren Phasen der rapid fortschreitenden Entwicklung nicht mehr, und ebenso ist, großenteils durch die Autoren selber, eine Schrift von Elster und Geitel („Über einige Ziele und Methoden luftelektrischer Untersuchungen", Wolfenbüttel 1891) in manchen Punkten überholt. Die spektroskopisch (Abschnitt XIV) genau untersuchten Blitze mußte man neuerdings immer bestimmter um die besondere Modalität der Kugelblitze vermehren, die F. Sauter (1896) in einer die Materie einstweilen erschöpfenden Monographie beschrieben hat. Planté (Abschnitt XVI) rechnet noch die sogenannten Perlblitze hinzu. Anhangsweise sei auch der Blitzröhren, der durch Einschlagen des Blitzes in Sandboden entstehenden, verästelten Sintergebilde, gedacht. Durch Abich, Th. Hoh, K. E. A. Wichmann (Abschnitt XXII) u. a. wurden der Bildungsprozeß und die petrographische Zusammensetzung dieser Versinterungen analysiert; K. G. Fiedler (1791—1853) hinwiederum hat mit seltenem Eifer die Örtlichkeiten ergründet, an welchen Blitzröhren aufgefunden worden sind.

Von allen Teilfächern der Meteorologie steht der allgemeinen Physik keines näher als die meteorologische Optik, welcher schon 1850 Grunert eine — freilich bald wieder eingegangene — Zeitschrift gewidmet hatte. Seitdem ist unermüdlich gearbeitet worden, sei es auf theoretischem Gebiete, sei es durch Beobachtung in der freien Natur und durch den Versuch im Laboratorium, wo man sich ja auch die Lichtstrahlen durch eine Spiegelvorrichtung, den von M. Meyerstein (1808—1882) viel verwendbarer gemachten

Heliostaten, an eine beliebige Stelle senden lassen kann. Nur gestreift seien E. Reimanns mühevolle Untersuchungen über die Gestalt des Himmelsgewölbes und die neueren Behandlungen der Lehre von der Strahlenbrechung, um die sich u. a. v. Bauernfeind, v. Oppolzer, v. Hartl und Bruns verdient gemacht haben, während F. Pfaff und A. Fischer auch dem nur selten nachzuweisenden Ausnahmefalle der Lateralrefraktion gerecht zu werden suchten. Die Luftdurchsichtigkeit lehrten H. R. A. v. Schlagintweit (Sakünlünski; 1826—1882) und Wild zu messen; zur Ermittlung des Grades der Tageshelle liegen exakte Messungen von Leonh. Weber (1885) vor; über die Himmelsfärbung haben Lord Rayleigh und Pernter erfolgreich gearbeitet, dessen Studien über die — von Goethe (Abschnitt VIII) für so wichtig erachteten — Farben trüber Mittel der meteorologischen Optik nachhaltigen Gewinn versprechen. Das Sternglitzern bildete die wissenschaftliche Domäne von K. Exner (geb. 1842) und Ch. M. V. Montigny (1819—1890), dessen Szintillometer die flüchtige und wechselvolle Erscheinung dauernd festzuhalten und zu beobachten gestattete. Die Polarisation des Himmelslichtes war schon früher ein Lieblingsgegenstand der Forschung für Arago, Brewster und Babinet, während späterhin P. Blaserna (geb. 1836) (1871) und in erster Linie F. Busch (1889) sowohl das Sonnenlicht, wie auch das diffuse Himmelslicht auf diese Eigenschaft prüften; Farben- und Polarisationserscheinungen studierte vereint (1873) J. E. Hagenbach-Bischof (geb. 1833). Die Farbenwechsel der Morgen- und Abendröte führte E. Lommel durchaus befriedigend auf Beugungserscheinungen zurück, und diesen gehören auch die von Schwerd und Sohncke erklärten diffusen Lichthöfe um Sonne und Mond zu, während bezüglich der größeren Lichtkränze, die oft zu merkwürdigen Phänomenen von Nebensonnen und Nebenmonden führen, an Fraunhofers Deutung — die Lichtstrahlen müssen prismatische Eisnädelchen passieren — festgehalten wird. Angeregt durch das Nebelglühen und den braunen Sonnenring (Bishopscher Ring) des Spätherbstes 1883, welche man mehr und mehr allseitig auf die Krakatau-Katastrophe und die damals in die Luft geblasenen

Massen feinst verteilter Feststoffe zurückzuführen geneigt war, unterzog K. J. Kießling (geb. 1839) die beim Durchgange von Strahlen durch solche Aggregate zu Tage tretenden Diffraktionserscheinungen gründlicher, experimenteller Zergliederung („Untersuchungen über Dämmerungserscheinungen", Hamburg-Leipzig 1888), und damit gewann auch jene neue physikalische Theorie der Dämmerung an Abrundung, welche v. Bezold schon früher der formalistisch-geometrischen Theorie Lamberts substituiert hatte. Auch Riggenbach und Pernter trugen zu genauerem Studium der sogenannten Purpurlichter bei, mit denen gewiß auch das von R. Wolf jahrelang beobachtete, von Amsler-Laffon und J. Maurer (1896) kausal untersuchte Alpenglühen zusammenhängt. Eine neue, frühere Unklarheiten ausschließende Theorie des Regenbogens gab Pernter, und daß auch der dem Gebirgswanderer bekannte Lichtschein um den Kopfschatten (Heiligenschein, Brockengespenst) in der Hauptsache eine Refraktions- und Reflexionserscheinung verwandter Natur darstellt, ist von Bravais, Lommel, A. Heim und Aug. Schmidt in mehrfacher Variation dargethan worden. Die Natur der von O. Jesse (geb. 1838) entdeckten, zweifellos in ungeheurer Höhe schwebenden leuchtenden oder silbernen Nachtwolken ist trotz fortgesetzter Beobachtungen von Jesse selbst und von Busch doch noch immer ein Geheimnis. Ein gleiches gilt von den Irrlichtern, denen man übrigens auf die neuerdings von Müller-Erzbach angestellten Nachforschungen hin eine gewisse Realität zugestehen muß.

Die Meteorologie selbst, die über eine ungemein verzweigte Litteratur didaktischen Charakters verfügt, aus welcher hier nur die Werke von Mohn (1. Auflage, 1874; ins Deutsche, Polnische, Russische und Spanische übersetzt), Sprung (1885) und Abercromby (1887; deutsch von Pernter, 1894) herausgehoben werden sollen, hatte viel zu thun, um die Grundlage für tiefere Forschungen zu fundieren, veraltete Anschauungen zu beseitigen und nach jeder Richtung hin den Anschluß an die modernen Erfahrungswissenschaften zu gewinnen. Die kosmische Meteorologie ist dabei ganz in den Hintergrund getreten. Zwar ergaben die methodischen Arbeiten von Schiaparelli, Loomis, Leyst,

J. H. Poincaré (geb. 1854), E. Wagner, H. Polis und, als besonders konsequent fortgesetzt, von R. Boernstein (geb. 1852), daß beinahe sämtliche meteorologische Elemente einen gleichen Zusammenhang mit den Mondstellungen erkennen lassen, allein die Beeinflussung ist eine viel zu unbedeutende, als daß weittragende Schlüsse daran geknüpft werden könnten, wie dies Matthieu de la Drôme, Falb, Overzier, G. F. v. Friesenhof (geb. 1840) thun wollten. Daß ferner die Fleckenfrequenz der Sonne sich auch in den Witterungszuständen der Erde offenbart, wird auf Grund der Schriften von F. G. Hahn (1877), F. Czerny v. Schwarzenberg (geb. 1847) (1881) und Fritz (1878 und 1893) nicht geleugnet werden können, um so mehr da auch spätere Nachweisungen von W. v. Bezold, A. Broun, Ch. Meldrum (geb. 1821), S. Levänen (geb. 1842) nur im gleichen Sinne gedeutet werden können; auch die von Gould und W. Foerster festgestellte Thatsache, daß eine elfjährige Periode von Oszillationen bei den Tragpfeilern großer Sternwarten sich bemerkbar macht, will nicht vernachlässigt sein. In hohem Grade theoretisch interessant sind diese Erfahrungen sämtlich, aber für die Begreifung des Wechselspieles von Wind und Wetter besagen sie sehr wenig, und zumal die dynamische Meteorologie will als eine rein tellurische Wissenschaft betrachtet und behandelt werden. Als Einleitungskapitel für sie ist die Lehre von den Niederschlägen von Wichtigkeit, und gerade hier sind neuerdings erfreuliche Fortschritte zu verzeichnen gewesen. Die Tau-, Reif- und Rauhfrostbildung wurde von Aitken (Abschnitt XVII), Wollny und Aßmann mit neuen, teilweise eine Umbildung der Ansichten bedingenden Erfahrungen bereichert; die Schneekrystalle machte Hellmann zum Objekte genauer, gestaltlicher Untersuchung; eine selbständige Wolkenkunde wurde von W. Cl. Ley (geb. 1840), W. P. Koeppen (geb. 1846), Hildebrandsson, Abercromby u. a. geschaffen, wobei hauptsächlich die in Abschnitt XVI zitierten Wolkenatlanten gute Dienste leisteten, und dank den Bemühungen der schwedischen Meteorologen N. Ekholm und K. L. Hagström hat man zuerst (1885) ganz verlässige Daten über Wolkenhöhen erhalten, zu denen nachmals die von W. Feußner

(geb. 1843), Zenker und Sprung angewandte Photogrammetrie (Abschnitt XVI) wertvolle Ergänzungen lieferte.

Die Bewegungsverhältnisse der Luft legte man sich selbst noch in den sechziger Jahren, und teilweise noch viel länger, ganz auf Grund der unzulänglichen Doveschen Winddrehungsregel zurecht, deren Genesis uns Abschnitt VI vorgeführt hat. Und doch war seit geraumer Zeit schon die Axt an die Wurzel des anscheinend so stolz emporstrebenden Baumes gelegt. Durch die früher genannten englischen und amerikanischen Meteorologen — Espy, Ferrel, Reid, Redfield, Piddington u. s. w. —, denen auch der viel zu wenig bekannte Mecklenburger M. Ch. Dippe (1813—1891) zuzurechnen ist, war eine Reform vorbereitet, deren Bannerträger von 1851 an Ch. H. D. Buys-Ballot wurde, von dem wir als Akustiker schon früher (Abschnitt VIII) Notiz zu nehmen hatten. Auf ihn geht zurück die synoptische Meteorologie, die Technik, den Witterungszustand einer möglichst großen Zahl von Orten, in Symbolen niedergelegt, auf einer Karte zu verzeichnen und aus diesem Schema auf das Wetter der nächsten Zukunft zu schließen. Und um das Lesen dieser Geheimschrift zu ermöglichen, stellte der Begründer der modernen Meteorologie den als barisches Windgesetz bezeichneten Lehrsatz auf: Die Luft weht stets von einem Punkte relativ höchsten Luftdruckes nach dem nächstgelegenen Punkte niedrigsten Barometerstandes hin, wird aber auf der Nordhalbkugel stetig nach rechts, auf der Südhalbkugel stetig nach links abgelenkt. In der Nähe des Maximums herrscht antizyklonale, in der Nähe des Minimums herrscht zyklonale, spiralige Bewegung, und jedwede Art von Luftbewegung in den tieferen Luftregionen, vom lauen Zephyr bis zum Wirbelsturme der Tropen, muß als Zyklone aufgefaßt werden. Wir sahen in Abschnitt VI, daß H. W. Brandes dieser Einsicht auffallend nahe gekommen war, allein ohne Berücksichtigung der durch die Erdrotation bedingten Deviationen war keine befriedigende Darstellung der thatsächlichen Windverhältnisse zu erreichen. Nur langsam brach sich die große Neuerung Bahn. Als U. F. F. Vettin (geb. 1820) im Jahre 1857 seine schönen Tabakrauchexperimente zur anschaulichen Verfolgung des von

Buys-Ballot gekennzeichneten Bewegungszustandes beschrieb, machte ihm Dove so heftige Opposition, daß sich Vettin ganz von der publizistischen Bühne zurückzog; erst 1884 trat er wieder mit seinen Versuchen hervor, und nun wurden dieselben freudig als willkommene Bestätigung einer der Wissenschaft freilich schon in Fleisch und Blut übergegangenen Wahrheit begrüßt. Als Konsequenzen der neuen Luftauflockerungstheorie wurden die Land- und Seewinde, sowie die Berg- und Thalwinde rasch erkannt; J. B. X. Fournet (1801—1869), J. Hann und, durch Beseitigung gewisser bei niedrigen Paßhöhen sich ergebenden Schwierigkeiten, R. A. Billwiller haben hierbei mitgewirkt. Mit den Monsunen hatte sich, von Buys-Ballot noch wenig beeinflußt, A. A. Mühry (1810—1888) eingehend befaßt, und J. Partsch klärte in dem teilweise auf K. Neumanns Papieren beruhenden Werke, dessen in Abschnitt XXII Erwähnung gethan worden ist, die Ursache der mit den Monsunen verwandten griechischen Etesien auf. Auch im Fortschreiten der Stürme, über welches v. Bezold, K. Lang, F. Erk (geb. 1857), Boernstein, Ciro Ferrari zahlreiche Materialien gesammelt und verarbeitet haben, fand sich das barische Gesetz bestätigt, indem nur an der Sturmfront der Winkel der Windrichtung mit dem Gradienten, d. h. der Normalen, der in seiner Größe sonst nach den von Th. Stevenson (geb. 1818) aufgestellten Normen schwankt, zum rechten wird. Der bayerische Gewitterdienst, den v. Bezold organisiert hat, erleichtert es, die mit einer Homobronte — Linie gleichzeitigen Gehörtwerdens des ersten Donners — zusammenfallende Gewitterfront zu zeichnen. Man kam so in die Lage, die von den Gewittern eingeschlagenen Wege zu erforschen, welche zum Teile mit den unter van Bebbers Ägide seit Jahren festgestellten Zugstraßen der Depressionen übereinstimmen. Zusammen mit den Gewittern, die hier nur in ihrer dynamischen Bedeutung zur Sprache kommen, haben auch A. Bellani (Abschnitt VI), C. G. M. Marangoni (geb. 1840), Th. Schwedow (geb. 1840), Kl. Heß (geb. 1850) die örtlichen Bedingungen und die Natur des Hagelschlages von verschiedenen Seiten aus betrachtet; die plausibelste Theorie der Entstehung der Schlossen rührt von O. Reynolds (geb. 1842) her.

Jene Luftbewegungen, die wir bisher ins Auge gefaßt hatten, waren wesentlich horizontale oder doch von der Art, daß, wenn man die Windrichtungen mit dem Anemoklinoskope von Dechevrens (Abschnitt XIII) auf ihre Winkel mit dem Horizonte geprüft hätte, kleine Neigungen herauskämen. Es giebt aber auch eigentliche Fallwinde von fast senkrechter Bewegungsrichtung; die warmen Fallwinde ordnen sich dem Föhntypus, die kalten dem Boratypus unter. Winde dieser Art giebt es nicht nur etwa in der Zentralschweiz und am Adriatischen Meere, sondern überall, wo die Lokalverhältnisse günstig liegen; warme Fallwinde konnten H. J. Rink (Abschnitt XXI), N. Hoffmeyer (1836—1884) und A. Paulsen in den eisumstarrten Fjorden Grönlands, P. Vogel (geb. 1856) ebenso auf Süd-Georgien nachweisen. Schon darum mußte die von Desor und Martins (Abschnitt VI und VII) vertretene Herleitung des Föhns aus der afrikanischen Wüste verworfen werden; Dove that dies („Über Eiszeit, Föhn und Sirocco", Berlin 1867) mit durchschlagenden Gründen, mußte es aber bei einer negativen Beweisführung bewenden lassen. Hier trat der Bahnbrecher der exakten Richtung der Meteorologie, Julius Hann (geb. 1839), in die Bresche, und seit 1866 brachten die Fachorgane Mitteilungen aus seiner Feder, durch welche eine strenge dynamische Auffassung des Wesens der Fallwinde begründet wurde; Sprung, Pernter und andere haben dann noch einzelne Fragen, namentlich bezüglich der Feuchtigkeitsverhältnisse, weiter ausgeführt. Mit wenigen Worten läßt sich der Kern der neuen Lehre dahin präzisieren: Ein Fallwind wird durch Aspiration einer Depression ausgelöst, wenn oberhalb eines Gebirgszuges eine ruhende Luftmasse lagert, und von der Art des Gleichgewichtszustandes in der durchmessenen Luftsäule hängt es ab, ob der Wind als ein warmer oder kalter empfunden wird.

Die großartigen Konzeptionen Doves von einer die gesamte Lufthülle der Erde gleichmäßig beherrschenden Zirkulation schienen sich zuerst mit dem Buys-Ballotschen Gesetze wenig vertragen zu wollen und wurden deshalb längere Zeit kaum mehr beachtet. Auch was J. Thomson im Jahre 1857 hierüber veröffentlichte,

kam nicht zur Kenntnis weiterer Kreise. Erst Ferrel („The Motions of Fluids and Solids on the Earth's Surface", Washington 1882) nahm das Zirkulationsproblem wieder auf, und Pernter, Werner Siemens, Sprung, W. M. Davis sind in die gleiche Bahn eingetreten. Es steht jetzt fest, daß die beiden Halbkugeln der Erde der Sitz zweier großen, selbständigen Zirkulationssysteme sind, und daß die Parallelkreise von $+ 35^1/_4{}^0$ als Orte relativer Ruhe, als Knotenlinien, zu gelten haben. Die Studien L. Teisserenc de Borts über die atlantischen Windsysteme lassen sich mit Ferrels Schlüssen in Einklang setzen, wenn man an diesen gewisse, durch die Natur der Sache gegebene Korrektionen anbringt. Über weit ausgedehnte Wirbelbewegungen in der Atmosphäre können wir als wahrscheinlich urteilen, seit wir durch die einschlägigen Untersuchungen von H. v. Helmholtz (1887) und S. O. Ransenberger (geb. 1852) (1895) einen Einblick in diese — auch durch Wolkenbeobachtungen als reell nachzuweisende — Bewegungsform erlangt haben.

Der Bemühungen Fitzroys, eine wissenschaftliche Wetterprognose ins Leben zu rufen, gedachte Abschnitt VI. Die erwünschteste Orientierung über die Pflichten und Methoden derselben gewährt uns van Bebbers „Handbuch der ausübenden Witterungskunde" (Stuttgart 1885—1886) nebst zwei Nachträgen („Die Wettervorhersage", Stuttgart 1891; „Die Beurteilung des Wetters auf mehrere Tage voraus", Stuttgart 1896); daneben darf, wer sich allseitig unterrichten will, eine von pessimistischerem Geiste diktierte und die Lokalprognose über die synoptische Methode stellende Schrift von H. J. Klein („Praktische Anleitung zur Vorausbestimmung des Wetters", Leipzig 1885) nicht außer Erwähnung bleiben. Im Großen und Ganzen haben sämtliche zivilisierten Staaten die organisierte Prognose adoptiert, wie H. Brocard (geb. 1845) des näheren berichtet („Organisation actuelle du service météorologique en Europe", Algier 1881). Die Zentralstation eines jeden Landes giebt Wetterdepeschen an die Unterstationen ab; diese sind in der von O. E. Krause (1880) vorgeschlagenen Chiffernsprache gehalten und setzen den Empfänger in den Stand, seine Wetterkarte auszufüllen und zu lesen. Die

Einführung des amerikanischen „Circuit-Systems“, welches die einzelnen Orte von der Zentralstelle unabhängiger macht, betreibt van Bebber eifrig. Neben der praktischen Witterungskunde in ihrer allgemeinen Form ist auch die von Bruhns, W. Koeppen und J. R. Lorenz v. Liburnau (geb. 1825) gepflegte Agrarmeteorologie, die nur einen Teil der meteorologischen Elemente zu berücksichtigen hat, und weiter die Küstenmeteorologie anzuführen, welche im staatlich geregelten Sturmwarnungswesen gipfelt. Endlich ist in neuester Zeit noch die von den meteorologischen Kongressen in ein System gebrachte maritime Meteorologie hinzugekommen, für welche Neumayer schon manche Lanze gebrochen hat. Die seefahrenden Nationen haben die Ozeane in sogenannte Gradfelder abgeteilt, und jede einzelne stellt von ihrer Parzelle die durchschnittlich herrschenden Luftdruck-, Temperatur- und Windverhältnisse durch Sammlung von Schiffernachrichten klar; für Deutschland tritt die von Neumayer mustergiltig organisierte Seewarte ein. Ferner gehören hierher die nautischen Manövrierregeln, mittelst deren man die von den tropischen Drehstürmen — Hurricane, Taifune — drohenden Gefahren beträchtlich abgeschwächt hat. Dove, van Bebber, Schück, Gelcich, E. R. Th. Knipping (geb. 1844) sind dieser Aufgabe näher getreten, zu deren Lösung auch maschinelle Hilfsmittel — Hornkarten, Zyklonographen — herbeigezogen werden müssen.

Die Klimatologie ist in der angenehmen Lage, sich auf ein als klassisch anerkanntes Werk berufen zu können. Dasselbe ist uns von Hann geschenkt worden („Handbuch der Klimatologie“, Stuttgart 1883; 2. Auflage, 1897) und enthält den gesamten, im Verlaufe der letzten Jahrzehnte fast unübersehbar angeschwollenen Thatsachenstoff in systematischer Verarbeitung. Wegen der vorzüglichen Bearbeitung einzelner Kapitel stellt sich ihm das mehr aus einer Sammlung selbständiger Monographien bestehende, von A. Woeikow (geb. 1842) herausgegebene Lehrbuch („Die Klimate der Erde“, Jena 1887) würdig zur Seite. Die Lehre vom Klima zerfällt ersichtlich in einen allgemeinen und in einen speziellen Teil; dieser letztere, der zweckmäßiger Klimatographie genannt würde, hat für jede geographische Einheit — Zone, Land, Bezirk — die allgemeinen und wieder auch die besonderen Züge des dort

herrschenden Klimas zu zeichnen. Hier kann von einem geschichtlichen Werden nur im Hinblicke auf die Methode gesprochen sein, welche ohnehin dem Arbeitsbereiche der allgemeinen Klimatologie zufällt, und so wird es naturgemäß auch nur diese letztere sein, mit welcher wir uns an diesem Orte zu beschäftigen haben.

Dem solaren Klima, welches ausschließlich von der Sonnenbestrahlung abhängt, stellt die Wissenschaft das physische Klima gegenüber, welches den durch die wechselvolle Beschaffenheit der Erdoberfläche bedingten Veränderungen Rechnung trägt. Das erstgenannte hinwiederum erheischt die Lösung zweier Aufgaben: es soll ermittelt werden, welchen Abschwächungen die solare Wärmeenergie beim Durchgange durch die Atmosphäre ausgesetzt ist, und wie sich der gebliebene Rest sodann auf die einzelnen Parallelkreise verteilt. Zu allererst ist es da also unser Bestreben, zu erfahren, wie groß die Sonnenkonstante ist, d. h. wie viele Kalorien an der äußeren atmosphärischen Begrenzungsfläche, wo noch keine Verschluckung stattgehabt haben kann, auf die Flächeneinheit entfallen. Durch Vorrichtungen, welche man als Pyrheliometer und Aktinometer kennt, suchten folgeweise Pouillet, Crova, Violle, O. Froelich (geb. 1843), A. G. Bartoli (geb. 1851), J. Maurer, Ferrel und — in besonders umfassender Weise — der amerikanische Astro- und Geophysiker S. P. Langley (geb. 1831) jene wichtige Zahl zu bestimmen; Genauigkeit im strengsten Wortsinne ist hier kaum erreichbar, aber dafür, daß die Solarkonstante zwischen 3 und 3,5 liegt, sprechen die besten Wahrscheinlichkeitsgründe. Verwandte Studien leiteten in neuester Zeit J. Scheiner zu der Überzeugung, daß die Hitze auf der Sonne selbst, oft nach Hunderttausenden von Graden geschätzt, viel geringer ist, als gemeiniglich angenommen wird. Um die selektive Absorption zu studieren, dient Langleys Bolometer, welches festzustellen erlaubte, daß die Verschluckung die kurzwelligen Strahlen, die dann erwähntermaßen Fluoreszenz erregen, weitaus am stärksten sind. An dem mathematischen Probleme, aus Tagesdauer und Meridianhöhe der Sonne die Größe des Tagesquantums der Sonnenwärme und hieraus durch einen weiteren Integrationsprozeß das Jahresquantum zu finden, beteiligten sich

schon vor längerer Zeit Lambert und J. G. Tralles (1763 bis 1822), später aber L. W. Meech (geb. 1821), Ch. Wiener, G. Roellinger u. a., mit dem besten Erfolge zuletzt Ch. A. Angot (geb. 1848), der zuerst auch die Absorptionsverluste mit in seinen Kalkül aufnahm. Brauchbare Näherungsformeln für die Beziehung zwischen dem Jahresbetrage der Sonnenstrahlung und der geographischen Breite entwickelten W. Schlemüller und S. Haughton (geb. 1821), und noch allgemeiner suchten das, wie man wohl sagen könnte, thermogeographische Problem W. Schoch (1856) und C. L. Madsen (1897) zu fassen; nur darf man nie vergessen, daß man lediglich geschickt errechnete Interpolationsformeln und keine eigentlichen Naturgesetze vor sich hat. Sehr allgemeine Ziele hatte sich auch W. Zenker („Die Verteilung der Wärme auf der Erdoberfläche", Berlin 1888) vorgesteckt.

Das physische Klima hängt, wie schon A. v. Humboldt herausfand, einesteils von dem Lageverhältnisse des betreffenden Ortes zu Meer und Festland, anderenteils von der Höhenlage ab, deren einzelne Möglichkeiten zumal in Woeikows Werke gründlichst erörtert wurden. W. Koeppen und A. Supan gaben Regeln an die Hand, um die einzelnen Klimaformen gegeneinander abzugrenzen, während der Gedanke, auf mathematischem Wege den Gegensatz zwischen Wasserklima und Landklima zum Ausdrucke zu bringen, durch Forbes (Abschnitt VIII), Precht, Zenker und R. Spitaler der Verwirklichung näher gebracht wurde. Über die Temperaturverhältnisse des in Ostsibirien gelegenen nördlichen Kältepoles, dem aber auf Nansens Anregung hin wohl ein zweiter in Grönland zugeordnet werden muß, hat uns H. Wild authentischen Aufschluß gegeben. Eine Windstatistik der Erde verdankt man dem Amerikaner J. H. Coffin (1806—1873), dessen „Winds of the Globe" (Washington 1876) S. J. Coffin und Woeikow der gelehrten Welt zugänglich gemacht haben, und dem Deutschen A. Supan („Statistik der unteren Luftströmungen", Leipzig 1881). Unsere Einsicht in die Rolle, die Eis und Schnee in klimatischer Hinsicht spielen, ist wesentlich durch Woeikow gefördert worden (1889), und im gleichen Jahre kam F. Ratzels Untersuchung über die geographische Bedeutung des gefrorenen Wassers auf der

Erde heraus, an die sich eine Reihe fleißiger Arbeiten aus der Leipziger Schule anschloß. Hildebrandsson und M. Rijkatschew (geb. 1840) unterstützten durch die kartographische Wiedergabe gewisser hierauf bezüglicher Verteilungsverhältnisse Woeikows theoretische Bestrebung. Die als Hilfsdisziplin der Klimatologie nicht zu unterschätzende, schon in Abschnitt VI berührte Phänologie fand zwei außerordentlich hingebende Förderer in dem Gießener Botaniker H. K. H. Hoffmann (1819—1891) und in dessen Schüler E. Ihne (geb. 1859). Ersterer glaubte noch vorzugsweise in der Ermittlung der für jede Pflanzenart örtlich als konstant betrachteten Temperatursummen das Heil der jungen Wissenschaft zu finden, wie dies auch, wiewohl mit teilweise weit abweichender Interpretation der Grundlagen, K. Linßer (1869) und der Dorpater Physiker A. J. v. Oettingen (geb. 1836) (1879) gethan hatten; Ihne dagegen, dessen „Instruktion“ in den meisten Ländern als Handweiser für die Beobachtungen der Phasen des Pflanzenlebens gilt, legt das weit höhere Gewicht auf die Kurvendarstellung und damit auf das geographische Moment und hat in die ganze Lehre durch seine phänologischen Jahreszeiten ein ganz neues Ferment hineingetragen. Als hervorragender phänologischer Methodiker werde auch der finländische Chemiker A. Moberg (1813 bis 1895) genannt. Eine gewisse Verwandtschaft waltet ob zwischen der Phänologie und der Forstmeteorologie, deren Schöpfer — unbeschadet einiger Ansätze aus früherer Zeit — recht eigentlich E. W. Ebermayer durch sein Fundamentalwerk „Die physikalische Einwirkung des Waldes auf Luft und Boden“ (Berlin 1873) geworden ist. H. v. Noerdlinger (geb. 1818), A. Müttrich (geb. 1833), J. Schubert, Lorenz v. Liburnau, Woeikow, E. Brückner und viele andere trugen dazu bei, daß wir über die anfänglich fast gar nicht gewürdigte, nachher wieder unnatürlich überschätzte klimatische Bedeutung großer Waldbestände Klarheit gewonnen haben. Die Quintessenz unseres Wissens besteht darin, daß der Wald als Bewahrer der Feuchtigkeit eine Annäherung des Klimas an den maritimen Charakter bewirkt, und danach läßt sich sofort beurteilen, inwieweit Waldabtreibung einen Landstrich dauernd zu schädigen vermag.

Die Konstanz oder Inkonstanz des Klimas ist schon im 18. Jahrhundert der Gegenstand retrospektiver Betrachtungen gewesen. Dann ging (Abschnitt VI) aus der neuen Lehre von der Eiszeit eine stärkere Veranlassung hervor, über die Möglichkeit einer mehr oder minder energischen Veränderung des Klimas weiter nachzudenken. Viele suchten die Ursache davon, daß nach langen Zeitabschnitten eine totale Abkühlung eintrete, in kosmischen Vorgängen, und wie dies schon Adhémar angebahnt hatte, so wurde von dessen Nachfolgern (Abschnitt X), unter denen J. H. Schmick, Pilar, R. Ball — dessen Hypothese hat K. Haas in einem sinnreichen Modelle veranschaulicht — J. Croll (1821 bis 1890), Culverwell und Chamberlin besonders hervortraten, alle Möglichkeiten gründlichst in Betracht gezogen, ohne daß jedoch irgendwelche Einstimmigkeit bereits zu erzielen gewesen wäre. Die hypothetischen Klimaformen geologischer Zeitalter wurden gleichfalls zu erforschen gesucht; M. Neumayr leistete dies namentlich für die Jura-, M. Semper für die ältere Tertiärperiode. Als Untersuchungsmittel mußte natürlich vorwiegend der paläontologische Befund, vorab bezüglich der Facies (Abschnitt X) dienen, wie denn auch noch für spätere Zeiten tiergeographische Überlegungen den fast einzigen Schlüssel zur Erschließung des Geheimnisses ehemaliger Land- und Wasserverteilung bieten; W. Kobelts „Studien zur Zoogeographie" (Wiesbaden 1897—1898) verdienen für diesen Zweck besondere Berücksichtigung. Andererseits hat man auch, zumeist indirekte historische Kennzeichen verwertend, die Frage einer nicht periodischen oder periodischen — Veränderung des Klimas in geschichtlicher Zeit zur Beratung gestellt. Arago, L. Dufour (1832—1892), Hazen, Th. Fischer, J. Partsch, A. Blytt, J. D. Whitney (1819—1896) mit seiner reichhaltigen Monographie „Climatic Changes of later Geological Times" (Cambridge Mass. 1882) waren bei diesen lehrreichen Diskussionen beteiligt. Ein sehr brauchbares Kriterium glaubten R. Sieger und E. Brückner in den wechselnden Wasserständen der Seen — zumal der abflußlosen — zu finden, und indem der letztgenannte Geograph, als geborener Balte zum Studium der russischen Quellen besser denn andere befähigt, namentlich die Verhältnisse des Kas-

pischen Meeres eingehend ergründete und sodann für diese Studien ein noch ungleich ausgiebigeres Material verfügbar machte, konnte er („Klimaschwankungen seit 1700, nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluvialzeit“, Wien-Olmütz 1890) die Existenz einer die ganze neuere Zeit beherrschenden Klimaperiode von durchschnittlich 35 Jahren zu hoher Wahrscheinlichkeit erheben. Die Forschungen des letzten Jahrzehntes haben vielfach zur Bestätigung von Brückners Entdeckung gedient.

Ehe wir von der atmosphärischen Physik Abschied nehmen, wollen wir noch erinnern, daß die Geschichtsforschung auf diesem Gebiete, vor siebzig Jahren von Th. Siber (1774—1854) schüchtern angeregt, in unseren Tagen durch die Arbeiten W. Koeppens und G. Hellmanns in lebhafteren Fluß gebracht worden ist. Des letzteren „Repertorium der deutschen Meteorologie“ (Leipzig 1883) läßt nur das eine Bedauern aufkommen, daß es sich eben programmgemäß auf die deutsche Fachlitteratur beschränkt. Höchst wertvoll sind auch die von Hellmann besorgten „Neudrucke von Schriften und Karten der Meteorologie und des Erdmagnetismus“. Die von Greely edierte „Bibliography of Meteorology“ (Washington 1888—1889) scheint leider noch nicht über den zweiten Band hinausgewachsen zu sein.

Der Lehre von der Luft folgt diejenige vom Wasser, welche die Ozeanographie an die Spitze zu stellen hat. Diesem Wissenszweige sind die nachhaltigsten Errungenschaften zu teil geworden durch die rein wissenschaftlichen Meeresdurchforschungen, mit denen fast sämtliche seefahrende Völker vorgegangen sind. Deutschland hat in den Jahren 1874 bis 1876 die „Gazelle“ unter G. E. F. v. Schleinitz (geb. 1834) ausgesandt, später die „Pommerania“ für die Untersuchung der Ostsee in Dienst gestellt, 1894 die Plankton-Expedition unter dem Zoologen V. Hensen (geb. 1835) organisiert und endlich durch Reichszuschuß die zwar auch zunächst der Seetierwelt gewidmete, aber auch sonst ergebnisreiche Fahrt der „Valdivia“, die K. Chun (geb. 1852) leitete, möglich gemacht. Österreich-Ungarn gehörte die 1858 unter dem Kommando B. v. Wüllerstorf-Urbairs (1816—1867) zur Weltumseglung ausgeschickte „Novara“ an, und aus seiner Marine

ging die „Pola" hervor, welche, von Kapitän Pott geführt, von den Meeresforschern J. Luksch, J. Wolf, K. Natterer u. a. zu gründlichster Erkundung des östlichen Mittelmeeres und des Roten Meeres benützt ward. Großbritannien stellte „Lightning" und „Porcupine", vor allem aber den „Challenger" (Frank Thomson, Ch. Wyville Thomson (1838—1882), Nares, Murray), der vier Jahre lang (1872—1876) in allen Erdmeeren umherschweifte. Frankreich hat „Travailleur" und „Talisman", Norwegen „Vöringen", die nordamerikanische Union „Tuscarora", „Gettisburg", „Essex" und „Dolphin, Rußland endlich „Vitiaz" ausgesandt. Die Kunst, dem Meere Antwort auf wissenschaftliche Fragen abzugewinnen, hat ungeahnte Fortschritte gemacht. Der viel zu wenig bekannte A. M. R. Chazallon (1802—1872), E. Stahlberger (gest. 1875) und neuerdings besonders W. Seibt schufen die so genau arbeitenden, selbstthätigen Mareographen, im Anschlusse an den einfachen Auslösungsmechanismus des amerikanischen Midshipmans Brooke entstanden die verbesserten Lotapparate von Belknap, Sigsbee, White nebst dem durch Farbenveränderung des Wandbelages die erreichte Tiefe signalisierenden Registrierinstrumente von W. Thomson und dem die Mitteltiefe eines Gewässers annähernd angebenden Druckbathometer von William Siemens; die Grunduntersuchung trat in ein neues Stadium durch die Dredge-Apparate von Murray-Renard, O. Torell und J. J. Chydenius (1836—1890) und, gewiß nicht zuletzt, von H. A. Meyer; für die Durchsichtigkeitsmessung wurde neben der älteren Versenkungsscheibe von Secchi auch die noch in weit größerer Tiefe Lichtwirkung verratende photographische Platte nutzbar gemacht; Reihentemperaturen in bestimmten Tiefen mißt man einerseits mit dem vervollkommneten Extremthermometer von W. A. Miller (1817—1870) und Casella, andererseits mit dem Umkehrthermometer der Firma Negretti-Zambra; für die zugleich eine Funktion des Salzgehaltes darstellende Wasserdichte endlich sind moderne Konstruktionen von Aräometern und zugleich das Abbe-Krümmelsche Doppelbild-Refraktometer im Gebrauche. Arealvermessung der Meeresräume

auf der Karte gestattet das Polarplanimeter mit einer die ältere Abwägungsmethode weit übertreffenden Genauigkeit vorzunehmen.

Den neuesten Bestimmungen H. Wagners zufolge kann die terrestrische Wasserfläche als das 2,57fache der Landfläche angenommen werden. Der im großen und ganzen als sanftgewellt zu bezeichnende, in geringerer Tiefe mit Küstenablagerungen und den Kalk- und Kieselpanzern winziger Tiere überdeckte und erst in großer Tiefe einen monotonen, anorganischen Thonüberzug aufweisende Meeresgrund weist Einsenkungen auf, die noch über die Maximalberghöhen hinausreichen; die „Penguin-Tiefe" im südlichen Großen Ozean sinkt bis zu 9427 m ab. Die Wasserfärbung hat man, mit den von F. A. Forel und W. Ule konstruierten Vergleichsröhrchen operierend, in vielen Meeresteilen bestimmt, und F. Boas, R. Abegg und Spring haben die theoretische Frage, wie das reine Blau des salzfreien Wassers und dessen Modifizierung durch Salzbeimischung zu erklären sei, allseitig ventiliert. Die Chemie des Meerwassers, welche zunächst die Ermittlung des sogenannten Chlorkoëffizienten erfordert, wurde folgeweise von E. v. Bibra (1806—1878), J. Davy, J. Roth, O. Pettersson (geb. 1848), D. H. Tornöe (geb. 1856), Thorpe und Rücker und zusammenfassend von J. Y. Buchanan (geb. 1844) behandelt, und durch diese Arbeiten konnte J. G. Forchhammers (1794—1865) ältere, damals mustergiltige Angabe über die festen Meeresbestandteile berichtigt werden. Die eigentümliche Bindung der Kohlensäure im Meerwasser entdeckten Tornöe und C. G. F. Jacobsen (1840—1894). Über die Temperaturverteilung in den Ozeanen endlich wurde von Wyville Thomson, Mohn, Krümmel, Supan und ganz besonders von dem jungen deutschen Forscher Gerhard Schott so viel Licht verbreitet, daß man zur Zeit eine Reihe allgemeingiltiger Erfahrungssätze aufzustellen in der Lage ist. Die zuerst von Scoresby (Abschnitt VI) wissenschaftlich erforschte Eiswelt der Polarmeere, in der Antarktis gestaltlich mehrfach anders als in der arktischen Zone beschaffen, hat durch Weyprecht („Die Metamorphosen des Polareises", Wien 1879) und K. Fricker („Die

Entstehung und Verbreitung des antarktischen Treibeises", Leipzig 1893) treffende Schilderungen erfahren; man kennt genau als selbständige Formen ins Meer hinausgeflößtes Süßwassereis, gefrorenes Meereis (Eisfelder, Packeis) und losgelöstes Inlandeis (Eisberge) und weiß, unter welchen Bedingungen der zur Ausscheidung der meisten Salzteile als Soole führende Gefrierprozeß stattfindet. Buchanan, Pettersson und der Marquis L. Ch. J. G. De Saporta (gest. 1895) stehen unter den hiermit beschäftigten Geophysikern obenan. Zum Schlusse unserer Übersicht über die Meeresstatik ist auch noch der neueren Untersuchungen O. Kuntzes und Krümmels über das sogenannte Pflanzen- oder Sargassomeer Erwähnung zu thun.

Indem wir zur Dynamik der Meere fortschreiten, werfen wir nur kurz einen Blick auf die Windwellen. Durch die beiden Weber, sodann durch G. H. L. Hagen (Abschnitt XV), Stokes, Rankine, Boussinesq, A. Cialdi (geb. 1807), L. E. Bertin (geb. 1840) hat dieser Teil der theoretischen Ozeanographie eine musterhafte Bearbeitung erfahren. Vater und Sohn Pâris (F. E. Pâris, 1806—1893) und G. Schott versahen uns mit genauen Messungen der Wellendimensionen. Zur Messung der Stoßenergie der Brandungswoge erfand Th. Stevenson (geb. 1818) sein Wellendynamometer, und von E. Pechuel-Loesche (geb. 1840) wurden uns genaue Nachrichten über die dort ganz besonders merkwürdige Erscheinungsformen darbietenden Brandungsverhältnisse an der westafrikanischen Flachküste übermittelt. Die von B. Franklin zuerst wissenschaftlicher Prüfung empfohlene Wellenberuhigung durch Öl haben verschiedene Admiralitäten so ausgebildet, daß große praktische Erfolge hierdurch erzielt werden können: für die unglaublich geringe Dichte des Ölhäutchens, dessen Oberflächenspannung besonders G. L. van der Menßbrugghe (geb. 1835) interessierte, haben verschiedene Physiker — Lord Rayleigh, Roentgen, Sohncke, A. Oberbeck (1846 bis 1900), P. Drude, Rücker, Reynolds, zuletzt, in sehr ausführlicher Untersuchung, K. T. Fischer (1897) — Absolutwerte berechnet. Als besondere Sturmwellen haben die der Ostsee eigentümlichen „Seebären" (Bare, niederdeutsch = Woge) die Aufmerksamkeit

von R. Credner (1888) und F. G. Hahn (1896) auf sich gezogen.

Die Gezeitenlehre, welche die durch cölestische Anziehung ausgelöste, tägliche Doppelwelle zu betrachten hat, steht in der Hauptsache noch jetzt auf dem von Laplace (Abschnitt VI) bereiteten Boden, ist aber, wie die Schriften von Airy („On Tides and Waves“, Edinburgh 1847) und F. Auerbach („Die theoretische Hydrodynamik, nach dem Gange ihrer Entwicklung in neuester Zeit in Kürze dargestellt“, Braunschweig 1881) zeigen, doch erheblich über den Altmeister hinausgegangen. Abgesehen von Airys Kanaltheorie, der keine aktuelle Bedeutung mehr zuerkannt werden kann, und der von Ferrel vertretenen Meinung, daß beim Gezeitenphänomene stehende Schwingungen die Hauptrolle spielten, stehen sich in unserer Zeit die wesentlich nur noch hodegetisch und didaktisch zu verwertende statische Theorie und die praktisch allein bedeutsame dynamische Theorie gegenüber. Erstere fand bei Airy und in W. Thomson-Taits „Treatise on Natural Philosophy“, (Oxford 1867; 1. Band deutsch durch H. v. Helmholtz und G. Wertheim) eine klassisch zu nennende Charakteristik. An der Fortbildung der dynamischen Fluttheorie, welche durch Darstellung der praktisch wichtigen Elemente — Fluthöhe, Hafenzeit — in Reihenform nicht bloß eine allgemeine Übersicht, sondern konkrete Lösungen darzubieten gesonnen ist, haben W. Thomson, G. H. Darwin, van der Stok in Batavia und unter den Deutschen mit hohem Erfolge K. N. J. Boergen (geb. 1843) gearbeitet. Die von der reinen Orbitalbewegung untrennbaren Gezeitenströme, als Kanalströme zuerst 1851 von Sir F. W. Beechey in Betracht gezogen, hat W. Thomson als die natürliche Konsequenz dieser Art von Wellenbewegung hinzustellen gewußt. Hier und da kompliziert sich die verwickelte Erscheinung durch das Eindringen der Flutwelle in Flußmündungen (Mascaret): hierüber orientierten uns die Beschreibungen und Erklärungen von Krümmel, Comoy, Bazin, v. Schleinitz und O. Lenz (geb. 1848), der das zumeist vom Amazonas und chinesischen Flüssen bekannte Stauphänomen auch in Afrika wahrgenommen hat. Die nahe verwandten Wirbelbildungen der Scylla und Charybdis

wurden erst in unseren Tagen (1891) von Ph. Keller befriedigend erläutert.

Grundverschieden von der Wellenbewegung ist die strömende Bewegung. Wir unterscheiden von den sich auch äußerlich sichtbar machenden, schnelleren Strömungen die über einen ungeheuren Raum ausgedehnte, äquatoriale und polare Wassermassen in Austausch bringende Vertikalzirkulation, die besonders Zoeppritz studiert hat; auf sie ist die von A. Puff (1890) näher erforschte Aufpressung kalten Polarwassers in niedrigen Breiten zurückzuführen. Des weiteren lernte die Wissenschaft unterscheiden zwischen den — von E. Wisotzki (1892) in ihrer Eigenart gekennzeichneten — Meerengenströmungen, welche durch ungleiche Wasserdichte in den verbundenen Meeresräumen entstehen und deutlich Ober- und Unterstrom von entgegengesetzter Richtung erkennen lassen, und jenen majestätischen Zirkulationssystemen, die nach Krümmels Morphographie der Meeresräume (1879) eben nur den Weltmeeren eigen sind. W. B. Carpenters (1813—1885) Theorem, daß solche Strömungen durch Ungleichheiten des Niveaus, der Dichte, der Temperatur und durch Luftbewegung ausgelöst werden könnten, konnte späterer Forschung nur in seinem vierten Bestandteile standhalten, und auch Mührys angestrengtes Trachten, eine thermische Theorie der Strömungen zu geben, führte nicht zum Ziele. Aber im Jahre 1879 zog Zoeppritz endgiltig den Schleier von diesem Geheimnisse fort, indem er analytisch Folgendes bewies: Durch Adhäsion der in regelmäßiger und gleichgerichteter Bewegung — Passate — befindlichen Luft an der Wasserfläche wird diese in Mitleidenschaft gezogen, und dieser Impuls pflanzt sich, falls nur genügend Zeit gegeben ist, durch innere Reibung bis in beliebige Tiefen fort. Durch Krümmel, S. Fritz, P. Hoffmann, Mohn u. a. ist diese Theorie, welche den alten Begriff der Driftströmung generalisiert, namentlich mit Rücksicht auf Stromteilung, Kompensationsströme und Einfluß der Erdrotation weiter ausgebaut und durchaus als zutreffend befunden worden. Abweichend, nämlich als Reaktions- oder Aspirationsströmungen sind nach F. L. Ekman (geb. 1830)

nur die Gegenströmungen in der Nähe von Strommündungen aufzufassen.

Die deutsche Litteratur besitzt im „Handbuch der Ozeanographie" (erster Teil von G. v. Boguslawski, Stuttgart 1884; zweiter Teil von O. Krümmel, ebenda 1888) einen in jeder Beziehung verlässigen Handweiser. Ein Werk v. J. J. Wild („Thalatta; an Essay on the Depth, Temperature and Currents of the Ocean", London 1877) ist für seine Zeit gleichfalls von großer Bedeutung gewesen. Zur ersten Einführung ist ein kleines Buch von E. Gelcich („Grundzüge der physischen Geographie des Meeres", Wien 1881) und ein ebensolches von Krümmel („Der Ozean", Leipzig-Prag 1886) sehr passend.

Da wir die Eigenschaften der Festlandoberfläche schon im vorigen Abschnitte der Besprechung unterzogen haben, so bleibt uns jetzt nur noch die Hydrologie des Süßwassers — Seen, strömende Gewässer, Grundwasser, Schnee und Eis der Hochgebirge — übrig, um die Geophysik abzurunden. Was die stehenden Wasser angeht, so kann F. A. Forels „Handbuch der Seenkunde" (Stuttgart 1900) als Inbegriff der einschlägigen Lehren gelten. Es kommen zur Behandlung die in die Geologie übergreifende Bildung der Seebecken, die durch Erosion, Auswirbelung (Evorsion), Einsturz und durch die verschiedensten Arten von Aufstauung und Abdämmung entstanden sein können; sodann die Küstenbildung, deren Typen Forel selbst genetisch feststellte; nächstdem die Beschaffenheit des Seewassers (Salzseen) und die Bewegungserscheinungen. Neben den Windwellen und Strömungen, die nur ein verkleinertes Bild derjenigen des Meeres abgeben, kommen auch die in Abschnitt XVI gestreiften Interferenzwellen oder „Seiches" in Frage, deren genaue Verfolgung mit E. Sarasins (geb. 1843) „limnimètre enrégistreur transportable" (1879) statthaft geworden ist. R. Merian (1797—1871) gab die Formel an, der sich alle diese stehenden Wellenbewegungen unterordnen, und im zweiten Bande von Forels großem Werke „Le Léman" (Basel-Genf-Lyon 1895) wird das Seicheproblem umfassend diskutiert. Er auch wies Seiches im Bodensee, Sarasin und Du Pasquier wiesen sie im See

von Neuchatel nach: nächst dem Leman ist aber, dank den Bemühungen E. v. Cholnokys, der ungarische Plattensee („Balaton") mit einer ganzen Reihe selbständiger Seiches bekannt. Ob die im Michigansee beobachteten periodisch-alternierenden Bewegungen in diese Kategorie oder in die Reihe der echten Gezeiten gehören, bleibt dahingestellt; daß aber in Meeresstraßen Seiches auftreten können, haben Miaulis und Krümmel für den Euripus bei Euböa sichergestellt. Über die Seetemperatur, deren Verhalten Forel den Grund zu seiner Einteilung aller Binnenseen — ohne Rücksicht auf die geographische Lage — in polare, gemäßigte und tropische lieferte, haben Delebecque, H. Hergesell, Rudolph u. a. Material beschafft, und A. Geistbeck konnte eine genetische Klassifikation des See-Eises durchführen, über dessen tektonische Störungen E. Goebeler wertvolle Mitteilungen gemacht hat. Die bedeutsamste Entdeckung auf diesem Gebiete machte 1891 Ed. Richter, indem er die sonst gleichförmige Abnahme der Temperatur mit der Tiefe als durch eine Sprungschicht unterbrochen nachwies, innerhalb deren es unverhältnismäßig rasch kälter wird. Seemonographien, wie sie A. Delebecque über französische, De Agostini über italienische, W. Halbfaß über deutsche, Penck, Richter und J. Müllner über österreichische Seen, Ule speziell über den Starnberger See, der Bodensee-Verein über diesen und die ungarische Geographische Gesellschaft über den Plattensee veröffentlichten, verleihen der Seenkunde eine feste Basis. Wird der Seeboden durch Isobathen plastisch abgebildet, so markieren sich auf der Karte auch deutlich jene unterseeischen Flußrinnen, wie sie von Hoernlimann und Forel im Genfer- und Bodensee, von Issel auch an der ligurischen Küste nachgewiesen, von E. Linhardt aber (1892) spezialistisch beschrieben worden sind.

Mit den Seen vereint behandelt die Geophysik auch die Sümpfe und Moore. Unsere Litteratur besitzt nach dieser Seite hin eine Musterleistung in dem Buche von Senft („Die Humus-, Torf-, Marsch- und Limonitbildungen als Erzeugungsmittel neuer Erdrindelagen", Leipzig 1862). Mit den norddeutschen Hochmooren beschäftigte sich besonders eingehend der Pflanzengeograph A. H. Grisebach (1814—1879), während die bayerischen Torfmoore, deren

genetische Zustände bereits zu Beginn des Jahrhunderts der gelehrte Naturforscher F. v. Schrank (1747—1835) zutreffend dargelegt hatte, durch Ch. Gruber und A. Baumann geographisch und naturwissenschaftlich gewürdigt wurden. Für die Spezialität der Mineralmoore sind die Untersuchungen von A. Bieber (1887), für die mit Muhrbrüchen und Schlammrutschungen vergleichbaren — zumeist auf Irland beschränkten — Moorausbrüche diejenigen von B. Klinge (1897) maßgebend.

Über die Wasserbewegung in Flüssen waren wir schon in Abschnitt XV das Notwendigste beizubringen veranlaßt, weil dafür hydrodynamische Lehren als bestimmend zu erachten sind. Nachgetragen seien nur A. Forsters sorgfältige Studien über Flußtemperatur (1894), welche die dreißig Jahre älteren von H. W. Hertzer (geb. 1822) ergänzten und erheblich weiterführten, und diejenigen von Martel, Müntz, E. Aubin und A. Schwager über Flußwasserfärbung. Das Wesen der Überschwemmungen, denen v. Sonklar die erste Monographie (1883) widmete, ist, dank den von H. Gravelius in Deutschland eingeführten Forschungsergebnissen von Rijkatschew, jetzt klarer denn sonst zu überblicken, so daß auch die von Belgrand, W. Sonne und O. Lueger geförderte Hochwasserprognose auf Erfolge rechnen darf, zumal da Honsell, Classen, Wollny, J. Schlichting und, als bester Kenner der Thalsperren, O. Intze die baulichen Schutzvorrichtungen gegen Wassergefahr auf eine hohe Stufe gebracht haben. Die Theorie und Praxis der Lehre von der Geschiebeführung in Strömen ist von F. Kreuter in ein nicht bloß für den Ingenieur, sondern auch für den Geographen ansprechendes System gebracht worden.

Alles Flußwasser stammt aus dem Grundwasser, welches neueren Untersuchungen zufolge nirgends auf der Erde fehlt: G. A. Schweinfurth (geb. 1836) vermochte es allenthalben unter der Sahara nachzuweisen. Den oft verwickelten Wechselbeziehungen zwischen Grundwasser und Flußgerinne sind A. J. E. Dupuit (1801—1866), H. Hoefer, J. Soyka und K. Cranz nachgegangen, so daß auch der unnatürlich scheinende Fall plötzlichen Versiegens eines Wasserlaufes völlig aufgehellt wurde. Das Grundwasser tritt in der Form von Quellen zu Tage, und seit E. Mariotte

war man bis tief in unser Jahrhundert herein der Meinung gewesen, Boden- und Quellwasser seien nichts als eingedrungenes Regenwasser, durch eine undurchdringliche Schicht vom Eindringen in tiefere Regionen abgehalten. In seinem schönen Werke „Zeitströmungen aus der Geographie“ (Leipzig 1897) hat E. Wisotzki die Phasen in der Entwicklung unseres Wissens von den Quellen scharf gekennzeichnet. Die zumeist nach O. Volger genannte, von ihm und K. Jarz (geb. 1842) energisch verteidigte Quellbildungshypothese ist eigentlich das geistige Eigentum des böhmischen Arztes A. P. F. Nowák (1807—1880); das in den obersten Schichten der Erdrinde zirkulierende Wassergas sollte eine Verdichtung zu Wasser erfahren. Nächst den besonderen Widerlegungen von Hann und Wollny hat zur Aufrechterhaltung der älteren Ansicht hauptsächlich das Fundamentalwerk „Les eaux souterraines“ (Paris 1887) von G. A. Daubrée (Abschnitt X und XXII) beigetragen, in welchem die Wandlungen des phreatischen, d. h. des potentiell zum Wiederhervorkommen an die Oberfläche bestimmten Wassers mit bekannter Meisterschaft geschildert wurden. Von den heißen Quellen oder Thermen erregten das Interesse des Forschers stets am meisten die intermittierenden Springbrunnen oder Geysirs, die auf Island, Neuseeland und im nordamerikanischen Yellowstone-Nationalparke durch ihre Vielgestaltigkeit den Beschauer fesseln. Mackenzie (1814), Bunsen (1846), Hayden (1872), O. Lang (1800) und A. Andreae (1893) haben die physikalischen und geologischen Bedingungen dieser Spezialform eruptiver Thätigkeit von verschiedenen Standpunkten aus gedeutet; für den nicht seltenen Fall, in welchem die Geysirs eine gewisse Launenhaftigkeit ihres Sprudelns bethätigen, dürfte Bunsens Annahme am besten zutreffen, daß der durch örtliche Zirkulationen bewirkte Auswurf geringerer Wassermassen eine plötzliche Entlastung der Wassersäule von dem das Aufkochen so lange verhindernden Drucke bewirkt habe.

Als Begründer der modernen Physik der Gletscher ist in Abschnitt VI L. Agassiz gefeiert worden. Ihm folgten auf diesem Wege, von seinen dort erwähnten Genossen Schimper, Desor und Guyot abgesehen, J. Tyndall, A. Dupré (1808—1869),

Ch. Grad (1842—1890), D. Dollfus-Ausset (1797—1870), F. A. Forel, Hagenbach-Bischof, F. Klocke (1847—1884) und eine große Anzahl anderer Forscher. Die erste moderne, die Ähnlichkeit der Bewegung von Gletschern und Flüssen treffend hervorhebende Behandlung des Bewegungsproblemes gab („Théorie des glaciers des Alpes“, Chambery 1843) der gelehrte savoyische Bischof L. Rendu (1789—1858). Eine Zusammenstellung alles dessen, was die Zeit von den Gletschern wußte, ein noch heute sehr brauchbares Buch („Die Gletscher der Jetztzeit“, Zürich 1854) gab der Physiker Mousson, und dreißig Jahre später ging von der gleichen Universität eine analoge Leistung aus, indem der Geologe A. Heim sein noch jetzt als Lehrnorm anerkanntes, wenngleich natürlich in Einzelheiten überholtes „Handbuch der Gletscherkunde“, (Stuttgart 1885) verfaßte. Um einige springende Punkte der Gletscherlehre zu betonen, stellen wir eine kurze Nachforschung in der Zeitgeschichte an. Den Hochschnee und Firn, aus dem das eigentliche Gletschereis seine Nahrung zieht, machten der kühne Hochgebirgswanderer Güßfeldt, F. Simony, J. Partsch, A. Penck, F. Ratzel, Ed. Richter zum Gegenstande ihrer Forschungen, aus denen der Gegensatz zwischen klimatologischer und orographischer Schneegrenze hervorging; die Lawinenbildung behandelte als erster zusammenfassend der eidgenössische Forstmann Coaz (1881); die Thatsache, daß die Kornstruktur nicht bloß dem Gletschereise, sondern dem Eise überhaupt eigne, fand R. Emden (1890) auf; über die eigenartige Plastizität gegen Druck und Sprödigkeit gegen Zug des Gletschereises orientierten Versuche, die H. v. Helmholtz und Tyndall anstellten; die Gletscherbewegung maß man (Forel, Tyndall) durch die Ortsverschiebung quer gelegter Steinreihen oder photogrammetrisch (Abschnitt XVI); für die Gletscherbewegung wurde die Erklärung der Regelation — Aneinanderhaften gepreßter Eisstücke — durch J. Thomson und Faraday (1859) wichtig. Sehr viel darf dieser ganze Teil der Erdphysik hoffen von S. Finsterwalders neuer, von Hypothesen gänzlich Abstand nehmender, rein geometrischer Theorie der Gletscherbewegung (1898), welche in höchst glücklicher Parallelisierung die für stationäre Flüssigkeitsbewegungen (Abschnitt XV) festgestellten Thatsachen

für diese anscheinend ganz regellose Bewegungsform verwertet. Desgleichen Autors Identifizierung von Innen- und Oberflächenmoränen wird sich aus jener Auffassung als unabweisliches Korollar ergeben.

Als bemerkenswerte Analogien des europäischen Gletscherphänomenes, welches sich übrigens auch im alpinen Typus anders als im skandinavischen offenbart, sind der von Güßfeldt und L. Brackebusch beschriebene Büßerschnee („nieve penitente") der argentinischen Kordilleren, die aus den Reiseberichten v. Middendorffs und F. v. Wrangells (geb. 1844) bekannten sibirischen Tarinne und das tief im Boden geognostische Schichten bildende Steineis zu betrachten, „fossiles" Eis, über welches Dall, A. Bunge (geb. 1842) und vor allem E. v. Toll spannende Mitteilungen gemacht haben. Den Gletschern nur in seinen Außenpartien vergleichbar, in seiner Hauptmasse aber bewegungslos ist auch das durch die Reisen v. Nordenskiölds und Nansens (Abschnitt XXI) genauer bekannt gewordene grönländische Binneneis. E. v. Drygalskis Reisewerk („Grönland-Expedition der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 1891—1893", Berlin 1897) giebt für das Studium der Physik dieses echt paläokrystischen Eises ganz neue Direktiven, welche einen lebhaften Meinungsaustausch in Fachkreisen hervorgerufen haben. Der Glazialforscher darf endlich auch nicht Umgang nehmen von den Eishöhlen, deren Eigenschaften G. B. Schwalbe (geb. 1841), der eifrigste Arbeiter auf diesem Gebiete, wesentlich auf die Wärmetönung des durch Felsritzen einsickernden meteorischen Wassers zurückzuführen geneigt ist. Dagegen treten Ed. Richter und E. F. Fugger (geb. 1842), der gründlichste Kenner alpiner Eisgrotten, Eisleiten und Windröhren, entschieden dafür ein, daß das Eis lediglich die Folge der in der stagnierenden Luft nicht zu verscheuchenden Kälte sei, und H. Crammers stetig fortgesetzte Temperatur- und Feuchtigkeitsmessungen in einer besonders ausgezeichneten Höhle (1899), die auch gelegentlich einmal eisfrei wird, bestätigten diese Annahme. Das Höhleneis selbst ist nach H. Lohmann sogenanntes Wabeneis, von eigentümlich zelligem Gefüge.

Zwischen Geophysik und physikalischer Geographie läßt sich, so können wir am Schlusse dieses Abschnittes sagen, ein wirklicher Unterschied kaum konstatieren, und die Mehrzahl der Beteiligten betrachtet beide Wortbildungen als synonym. J. Müllers „Lehrbuch der kosmischen Physik" (5. Auflage von C. F. W. Peters, Braunschweig 1894) bietet ungefähr entsprechenden Wissensinhalt. Aus der fast unübersehbaren Fülle der unterrichtlichen Werke führen wir hier, neben der uns schon bekannten „Allgemeinen Erdkunde" von Hann-Brückner-A. Kirchhoff (Abschnitt XXI), besonders an W. M. Davis-Snyders „Physical Geography" (Boston-London 1898) und A. Supans „Grundzüge der physischen Erdkunde" (Leipzig 1885; 2. Auflage, 1896). Die Gesamtheit aller auch im weiteren Sinne hier einzubeziehenden Probleme sucht, mit besonderer Berücksichtigung des litterarischen und geschichtlichen Elementes, S. Günthers „Handbuch der Geophysik" (Stuttgart 1897—1899) systematisch abzuhandeln.

Vierundzwanzigstes Kapitel.

Rückblick und Ausblick.

Die Schilderung, welche wir von den Entwicklungsstadien und Fortschritten der einzelnen in unser Gebiet fallenden naturwissenschaftlichen Disziplinen zu geben hatten, ist durchweg an ihrem natürlichen Ende, an dem das 19. Jahrhundert abschließenden Jahre 1900, angekommen. Wir haben gesehen, daß die großartige Geistesbewegung, welche um 1750 eingesetzt hatte, in den meisten europäischen Ländern ihren ungestörten, mehr oder weniger raschen Fortgang nahm, daß sie aber in unserem eigenen Vaterlande erst einen toten Punkt zu überwinden hatte, und daß die naturphilosophische Episode die deutsche Naturforschung sehr ernstlich in eine falsche Bahn zu lenken drohte, bis dann endlich in den zwanziger und dreißiger Jahren der niemals ganz unterdrückte gesunde Sinn wieder die Oberhand behielt und mit den Überbleibseln des Rückfalles in eine ganz anders geartete Zeit aufräumte. Von da ab ging es schnell, vielfach sogar rapid, vorwärts, und wenn wir die Säkularbilanz ziehen, so kann dieselbe nur als eine glänzende bezeichnet werden. Es ziemt sich also wohl, einen Blick rückwärts zu werfen und auf diese Weise den Unterschied klarzustellen, welcher zwischen dem neuen Jahrhundertanfang und jenem 1. Januar 1801 obwaltet, an welchem dem wackeren Piazzi die Entdeckung des ersten unter jener ungeheuren Schar neuer Planeten gelang, mit denen uns die Himmelsforschung der nächsten hundert Jahre bekannt machen sollte.

Doch soll dies nicht etwa in der Weise geschehen, daß wir gewissermaßen eine Liste der großen Entdeckungen und Erfindungen auf den einzelnen Arbeitsfeldern der exakten Wissenschaften entrollen. Eine solche Zusammenstellung würde höchst mühsam sein und trotzdem schwerlich ein befriedigendes Ergebnis liefern. Weit mehr empfiehlt es sich, in großen Zügen die bewegenden Grundgedanken zu kennzeichnen, von denen anzunehmen ist, daß sie auch im neuen Jahrhundert fortwirken und in noch glänzenderen Errungenschaften die ihnen innewohnende Kraft bethätigen werden. Sind doch vor allem, um zunächst nur diesen einen, aber hochwichtigen Punkt hervorzuheben, die Menschen des 20. Jahrhunderts mit ganz anderen physischen Erkenntnismitteln ausgerüstet, welche ihnen den Vorfahren gegenüber eine begünstigte Stellung sichern. Unsere Sinneswahrnehmung hat sich beträchtlich verschärft. In einer akademischen Antrittsrede (Leipzig 1900) hat O. Wiener, der erwähntermaßen (Abschnitt XVI) für die Farbenphotographie ganz neue Wege aufzuzeigen so glücklich war, „die Erweiterung unserer Sinne“ zum Gegenstande einer tief eindringenden Erörterung gemacht. Jeder Apparat, jedes Instrument soll dazu dienen, die trägere Sinnesthätigkeit des Menschen zu vervollkommnen, zu verschärfen. Schon 1855 hat der große Psychophysiker H. Spencer diesen Gedanken sehr bestimmt ausgesprochen. Nehmen wir aus der Lehre von den durch das Nervensystem vermittelten Beziehungen zwischen Leib und Seele, wie wir darüber in Abschnitt XVII uns kurz äußern konnten, den zuerst von Herbart (Abschnitt II) eingeführten Begriff der Schwelle herüber, so kommt offenbar jeder Vorrichtung, die menschlicher Kombination für die Zwecke des Zählens, Messens und Wägens ihre Entstehung verdankt, eine gewisse Genauigkeits- oder, nach Wiener, Verhältnisschwelle zu, jenseits deren die Vorrichtung keine Dienste mehr zu thun vermag, und die Aufgabe des mit dem Forscher verbundenen Mechanikers ist es, diese Schwelle möglichst tief herabzudrücken. Eine der trefflichen modernen Wagen, wie sie Physiker und Chemiker für ihre feinen Bestimmungen brauchen, ist ungefähr zehntausendmal empfindlicher, als die empfindlichste Stelle unseres Körpers, dessen Verhältnisschwelle demgemäß ziemlich

hoch liegt. Wie ungemein unser Gesichtssinn durch die Verbesserung optischer Instrumente und Methoden gewonnen hat, ist in den vorhergehenden Abschnitten oft genug dargelegt worden. Und der Gehörsinn kann sich auf den Gesichtssinn stützen, seit besonders Th. Simon (1898) die telephonische Bedeutung des elektrischen Lichtbogens aufgedeckt hat. Ganz unverhältnismäßig verfeinert wurde der Zeitsinn, wie wir dies zumal anläßlich der sogenannten Momentverschlüsse des Astrophotographen festzustellen in der Lage waren. Eine Zeitsekunde ist gewiß ein kurzer Zeitabschnitt, so kurz, daß in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts der Astronom Rothmann ausdrücklich betonen zu müssen glaubte, die Messung von Sekunden sei kein Ding der Unmöglichkeit. Und durch die in Abschnitt XVI besprochenen Versuche Feddersens mit dem rotierenden Spiegel ist die Möglichkeit der Festhaltung einer Hundertmilliontelsekunde dargethan worden! Legt man das Erg, d. h. diejenige Einheit des Energiemaßes zu Grunde, welche der Hebung eines Milligramms um einen Centimeter — oder eines Centigramms um einen Millimeter u. s. w. — entspricht, so ist der Vorteil eines gemeinsamen Maßes für Sinne und Instrumente gewonnen, und die Energieschwelle, unter die hinab die Fähigkeit des Wahrnehmens von Unterschieden nicht mehr reicht, kann in Erg angegeben werden. Nach M. Wien liegt für Auge und Ohr diese Energieschwelle ziemlich an derselben Stelle: ein Hundertmillionteleerg ist gerade noch imstande, einen Reiz auf jedes dieser beiden Organe auszuüben, und das Sehorgan übertrifft etwa hundertmal eine empfindliche photographische Platte. Ganz unverhältnismäßig reizbarer noch ist Paschens Galvanometer, welches dem Jahre 1893 entstammt. Aber die Wissenschaft orientiert uns nicht allein über die Leistungsfähigkeit und über die zweckmäßigste Armierung unserer Sinne zum Zwecke der Lösung bestimmter Aufgaben, sondern sie zaubert sogar neue Sinne hervor. Die große Entdeckung Roentgens (Abschnitt XVI) hat die Menschheit in den Besitz eines neuen Sinnes gesetzt, von dessen latentem Vorhandensein bis dahin nichts geahnt worden war. Überfliegen wir also nochmals die lange Reihe von Erfolgen, durch welche dem Menschen der Gegenwart ein so außer-

ordentlich viel weiterer Spielraum für die Bethätigung seiner Kräfte geschaffen worden ist, so dürfen wir wohl mit voller Berechtigung die Behauptung aufstellen: Das Geschlecht des 20. Jahrhunderts ist zum tieferen Eindringen in die Geheimnisse der Natur unvergleichlich viel besser ausgerüstet, als es das ihm vorhergehende war. Denn unsere Nachfolger können den freiesten Gebrauch von den neuen Hilfsmitteln machen, welche ihnen das vorhergehende Säkulum zur Verfügung stellte, und wenn sie mit dem überkommenen Pfunde wuchern, werden sehr bald von der Basis der als unveräußerliches Erbe der Folgezeit überlieferten Erkenntnismittel aus neue Eroberungszüge in das Reich des Unbekannten unternommen werden. Wir wissen es jetzt mit Sicherheit, daß Goethes verpönte „Hebel und Schrauben“ eben doch dazu gut sind, der Natur ihre Geheimnisse abzuzwingen; nur müssen es eben die richtigen Hebel und die richtigen Schrauben sein.

Freilich, auch die weitest gehende Verfeinerung der Beobachtungs- und Experimentalmethoden würde nicht ausreichen, große Fortschritte auf der schwierigen Bahn der Erkenntnis zu machen; es muß mit jenen vielmehr die rein theoretische Arbeit, die induktiv unausgesetzt neues Erfahrungsmaterial sammelt und dessen Verhalten zum bisher anerkannten Systeme der Wissenschaft auf deduktivem Wege fixiert, stets gleichen Schritt halten. Daß dieser Parallelismus, der nicht fehlen darf, wenn nicht die Wissenschaft der Gefahr, in rohe Empirie oder in abstruse Gedankenschwelgerei zu verfallen, ausgesetzt sein soll, in allen wesentlichen Punkten während des größten Teiles des abgelaufenen Jahrhunderts auch wirklich eingehalten worden ist, wird Der nicht leugnen, der von dem auf den früheren Blättern beschriebenen Entwicklungsgange Einsicht genommen und sich dabei überzeugt hat, wie mit kräftigem Rucke die deutsche Forscherwelt sich von den Banden der naturphilosophischen Spekulation befreit und den Anschluß an die anderwärts nicht so lange unterbrochene, normale Bewegung wiedergewonnen hat. Über die leitenden Gesichtspunkte einer ergebnisreichen Reihe von Dezennien klärt vorzüglich auf ein Vortrag, den der geniale Physikochemiker J. H. van t'Hoff

in der ersten allgemeinen Versammlung der zu Aachen zusammengetretenen deutschen Naturforscher und Ärzte am 17. September 1900 gehalten hat. Da der Vortragende ein dem von uns angestrebten nächstverwandtes Ziel im Auge hatte, so wird es gewiß nicht getadelt werden, wenn diese Darstellung bei den überaus interessanten Ausführungen jener Rede eine Anleihe macht. Es wird zwischen den allgemeinen und speziellen Wissenschaften, welch letztere auch wohl konkrete heißen, ein Unterschied gemacht, der sich, mit van t'Hoff zu sprechen, zunächst auf die „Wissenschaften der leblosen Natur", also eben auf diejenigen bezieht, denen dieses Werk gewidmet ist. Die allgemeinen Wissenschaften zerfallen wieder in die „drei mathematischen Grundwissenschaften" der Quantität (Arithmetik), der Dimension (Geometrie) und der Bewegung und Kraft (Mechanik); die letztere bildet die Brücke zu den beiden „experimentellen Naturwissenschaften", Physik und Chemie. Daß diese beiden letzteren sich nach Inhalt und Methode gegenüberstehen, fühlte man zwar auch schon am Ende des 18. Jahrhunderts ganz gut heraus, aber angesichts der Thatsache, daß dazumal der Umfang der einzelnen Disziplinen ein unverhältnismäßig bescheidenerer als gegenwärtig war, sah man vielfach noch über die Verschiedenartigkeit hinweg, behandelte Physik und Chemie zusammen im nämlichen Leitfaden oder Handbuche und fand es nur natürlich, daß beide Fächer sehr gewöhnlich durch Personalunion zusammengehalten wurden. Wenn wir die Namen Cavendish, Clément, Gay-Lussac, Faraday nennen, so sehen wir, daß die erwähnte Annahme auch in der realen Welt ihre vollständige Bestätigung fand, und noch um die Mitte des Jahrhunderts mochte es selbst dem kundigen Beurteiler zweifelhaft erscheinen, ob er einen Bunsen zu den Chemikern, denen er berufsmäßig angehörte, oder nicht mit gleichem Rechte zu den Physikern stellen solle. In unseren Tagen hat der so ungeheuer angewachsene Stoff die Trennung gebieterisch durchgesetzt, aber die Vorteile, welche das frühere Verhältnis mit sich gebracht hatte, waren doch auch so große und einleuchtende gewesen, daß sich in der physikalischen Chemie ein selbständiger Wissenszweig herausbildete, der nunmehr unter weit vorteilhafteren Auspizien dafür thätig ist, daß die beiden

experimentellen Fundamentalwissenschaften der zahlreichen einigenden Momente eingedenk bleiben.

Aber freilich, nicht nur die Stoffvermehrung, sondern auch eine gewisse innere Verschiedenheit in der Art und Weise, diesen Stoff zu durchdringen, hat eine Schranke zwischen Physik und Chemie aufgerichtet, obwohl auch jetzt noch van t'Hoff darin beizupflichten ist, daß die Ziehung einer wirklich genügenden, in der innersten Natur der Sache begründeten Scheidungslinie wohl niemals möglich werden wird.

Für jedwede Forschung auf dem Gebiete der anorganischen — und mehr und mehr ganz ebenso auch auf dem der organischen — Naturforschung gilt der aus den großen prinzipiellen Umgestaltungen der vierziger Jahre (Abschnitt XI) hervorgegangene Satz: Die gesamte Energiemenge im Weltall ist unveränderlich. Physik und Chemie erkennen denselben ganz gleichmäßig als Norm und Richtschnur an, aber die Probleme, auf welche sie ihn anwenden, ist nicht dieselbe. Physik ist, wie van t'Hoff definiert, die Lehre von den Verwandlungen der Arbeitsform und Chemie ist die Lehre von den Verwandlungen der Materie. Die erstere hat es, immer auf die erwähnte Grundwahrheit sich stützend, so weit gebracht, daß eine Reihe von Wahrheiten allgemeinster Geltung gesichert ist. Wir erinnern nur an das Energiegesetz selber, an den ersten und zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie, an die theoretischen Konsequenzen des Umstandes, daß der sogenannte Aggregatzustand keine bleibende, sondern nur eine zufällige Erscheinung ist, und daß, falls nur die erforderlichen Machtmittel dem Experimentator zur Verfügung stehen, jeder dieser Zustände in jeden anderen, sei es auch der überkritische, übergeführt werden kann. Aber auch abgesehen von demjenigen, was als unerschütterlich für alle Zeiten feststeht, ist die Physik in den Besitz einer Reihe von Arbeitshypothesen — Working Hypothesis der Engländer — gelangt, die ihren ersten Zweck, eine ganz genaue Beschreibung der Naturvorgänge im Kirchhoffschen Sinne zu ermöglichen, vortrefflich erfüllen und der Erwartung Ausdruck zu geben verstatten, es sei vielleicht durch sie bereits, soweit die kritizistische Naturforschung überhaupt einen

Einblick in den innersten Zusammenhang der Dinge anstreben läßt, der eigentliche Urgrund der Phänomene aufgedeckt. Dahin gehört in allererster Linie der Faradaysche Kraftlinienbegriff samt den Maxwellschen Erweiterungen, dahin die Annahme, daß neben den gewöhnlichen Stoffteilchen auch die durch ihre Beweglichkeit gekennzeichneten Ionen den Raum erfüllen, dahin endlich die elektromagnetische Lichttheorie, welche die Überzeugung verstärken mußte, daß es der Zukunft noch beschieden sein werde, alle Bewegungen, so spezifisch sie sich auch auf den ersten Blick ausnehmen mögen, auf eine generelle Ursache zurückzuleiten. Und mit dieser rein geistigen Vertiefung und Erweiterung unserer Kenntnisse, die eine fast ungeheuer zu nennende Hinausschiebung unseres Gesichtskreises bedingten, geht Hand in Hand eine noch weit mehr in die Augen fallende Vervollkommnung der Mittel, mit deren Hilfe wir die Natur zwingen, uns zu willen zu sein und uns Verrichtungen abzunehmen, welche — soweit daran überhaupt früher gedacht werden konnte — hunderte von Menschen in Aktion setzen mußten. Wenn wir die Worte Spektralanalyse und Luftverflüssigung, Elektrotechnik und Roentgen-Radioskopie aussprechen, so haben wir damit die Kluft, welche zwischen uns und der dritten Generation vor uns klafft, genugsam charakterisiert. Die Kinetik des Äthers aber hat uns auch dazu befähigt, eine rationelle Auffassung des Wesens der Bewegungslehre anzubahnen, welche selbst uralte Fragen, mit denen man schon ganz und gar fertig zu sein glaubte, in völlig neuem Lichte erscheinen läßt. Der dritte Band der nach des Autors Tode herausgegebenen sämtlichen Werke von H. Hertz („Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt", Leipzig 1894) mag wohl als ein Zukunftsprogramm dieser grundlegenden Wissenschaft erscheinen, dessen Einlösung dem herangebrochenen Jahrhundert überlassen bleibt.

Die Chemie ist, wie van t'Hoff andeutet, in dem einen Punkte überlieferter Anschauung treu geblieben, daß sie noch jetzt den Gegensatz Element-Verbindung aufrecht erhält. Nicht nur jedoch hat sie die Anzahl der Elemente, von denen vor hundert Jahren erst eine viel kleinere Menge bekannt war, auf rund achtzig erweitert, sondern sie hat es auch dahin gebracht, der Astronomie

in der Entdeckung unbekannter Systemglieder Konkurrenz machen und a priori auf das Dasein neuer, noch unbekannter Grundstoffe mit vorgezeichneten Eigenschaften schließen zu können, die dann auch wirklich aufgefunden wurden. L. Meyer, Mendelejew, Kl. Winkler stehen unter diesen begnadeten Entdeckern im Vordergrunde. Und weiterhin fiel mit der Ausbildung der Chemie die irrige Vorstellung, daß die Molekularstruktur der sogenannten organischen Substanz von derjenigen der anorganischen im innersten Wesen verschieden sei. Woehlers Darstellung des Harnstoffs, Berthelots Zusammensetzung der Ameisensäure haben mit dem unfaßbaren Postulate einer chemisch thätigen Lebenskraft ein für allemal aufgeräumt, und Pasteurs Versuch, die gefallene Definition unter einem neuen, anscheinend bestechenden Gesichtspunkte wieder aufleben zu lassen, mußte schließlich auch wieder aufgegeben werden. Die Synthese der Farbstoffe, Alkaloide und Glykosen, wie sie durch v. Baeyer, Graebe, Liebermann, Ladenburg, die beiden Fischer u. a. in die Wege geleitet worden ist, hat den Triumph der Kunst im Zerlegen und Aufbauen dem Auge der ganzen Welt offenbart und den Nachfolgern die berechtigte Hoffnung erweckt, eine Fülle ähnlicher, noch ungelöster Aufgaben auf gleiche Art bewältigen zu können. Valenzlehre und Stereochemie führten weiter, was im Hinblicke auf eine mathematische Behandlung einschlägiger Fragen von Richter, Wenzel, Dalton, Gay-Lussac, Graf Avogadro angebahnt worden war, und ganz ebenso entstand unter den Händen von Guldberg und Waage ein wirkliches Lehrgebäude der chemischen Statik, wie es Graf Berthollet mehr denn sechzig Jahre zuvor mit prophetischem Auge geschaut hatte, ohne es mangels der erforderlichen Baumaterialien selbst schon in befriedigender Festigkeit aufrichten zu können. Die Thermo- und Elektrochemie endlich haben, dank den rastlosen Anstrengungen eines Horstmann, Thomsen, Gibbs, H. v. Helmholtz, Ostwald, Arrhenius, Nernst, um bei einigen besonders bekannten Namen stehen zu bleiben, das stellenweise minder sichtbar gewordene, wenngleich zu keiner Zeit gänzlich abgerissene Band zwischen Physik und Chemie neu geschlungen und den osmotischen Druck als

eine für die Lehre von den Lösungen normative Erscheinung in seine Rechte eingesetzt; andererseits wurde die Identität von freier Arbeit und chemischer Affinität nachgewiesen und dafür eine exakte, die elektromotorische Kraft verwertende Maßbestimmung ausgemittelt wurde. Durch die erfreuliche Ausbildung der chemischen Statik wird eine entsprechende Ausgestaltung der chemischen Kinetik wo nicht unmittelbar gewährleistet, so doch wahrscheinlich gemacht und in eine keineswegs unerreichbare Nähe gerückt.

Den übrigen Wissenschaften von der unbelebten Natur hat van t'Hoff nur einige Worte zugewendet, die übrigens deren Eigenart und Besitzstand an der Jahrhundertwende sehr gut kennzeichnen. Nur gegen die vom „historischen Charakter dieser Wissenschaften" handelnde Stelle wird manche berechtigte Einwendung laut werden. Denn dadurch, daß sie „die Erscheinungen von Tag zu Tag verfolgen", ist jene Klassifikation noch nicht gegeben; vielmehr ist es ausnahmslos Tendenz und Pflicht derselben, einem deskriptiven Sammeln der Einzelthatsachen nach Möglichkeit die Kausalerklärung nachfolgen zu lassen. Einzig von diesem Standpunkte aus werden wir den übrigen Disziplinen vollständig gerecht werden können, und zudem halten wir es für notwendig, van t'Hoffs Meteorologie mit seiner Geographie unter dem Namen Geophysik zu vereinigen und auch der von ihm nicht besonders genannten Mineralogie den ihr im Gesamtorganismus zukommenden Platz eigens anzuweisen.

Die Astronomie ist vielleicht von allen Schwesterwissenschaften auf dem höchsten Standpunkte angekommen. Wie der Name des Zweigestirnes Leverrier-Galle uns erinnerlich macht, wie es aber die Vorausberechnung jeder Finsternis, jeder Planetenkonjunktion, jeder Sternbedeckung ununterbrochen beweist, kann sie zukünftige Vorkommnisse mit einer der Gewißheit fast absolut gleichkommenden Wahrscheinlichkeit prognostizieren, und zwar nicht nur generell, sondern quantitativ, bis auf Bogen- und Zeitsekunden. Die Spektroskopie verhilft dazu, physisches Verhalten und chemische Beschaffenheit auch der entferntesten, Licht aussendenden Weltkörper bis zu einem gewissen Grade aufzuklären. Aber allerdings steht ihre Forschung, so wunderbare Ausblicke uns auch W. Herschel,

W. v. Struve, Argelander, Schoenfeld, Ch. und M. Wolf, Seeliger u. a. in die Stellarastronomie eröffnet haben, nur innerhalb unseres engeren Sonnensystemes auf ganz festen Füßen, und dem nächsten Jahrhundert erwächst die Verpflichtung, Vermutungen über die Natur weit abliegender Fixstern- und Nebelsysteme zu bekräftigen, Gewißheit über viele Fragen zu schaffen, die sich die Astronomen des 19. Jahrhunderts aufzuwerfen bescheiden mußten.

Die Wissenschaften von der Erde beruhen zum großen Teile auf einer nicht bloß sammelnden und beschreibenden, sondern ihre Errungenschaften auch unter dem Einflusse von Mathematik und Physik einheitlich zusammenfassenden Mineralogie. Herübergenommen ward dieselbe aus dem 18. ins 19. Jahrhundert wesentlich nur als Raritätenkunde, im besten Falle als Museumswissenschaft, vergleichbar der unter analogen äußeren Umständen sich langsam entfaltenden Versteinerungslehre. Das ist nun gründlich anders geworden. S. Weiß und F. Neumann schufen, an Hauy anknüpfend, eine strenge, geometrische Krystallographie; Hessel und Bravais begründeten dieselbe ursächlich, und unter den Händen von Gadolin, Sohncke, Minnigerode, Schoenflies, Fedorow ist diese Teildisziplin zugleich auch ein wichtiger Annex der allgemeinen Molekularphysik geworden. Der naturhistorischen Seite nahm sich Mohs mit größtem Eifer an, und indem die Kennzeichenlehre der gesteinsbildenden Mineralien, wie der felsbildenden Gesteine von den vervollkommneten Methoden der Chemie und Mikroskopie, Sorbys Dünnschliffen an erster Stelle, geeigneten Gebrauch machte, zweigte sich von der Mineralogie im engeren Sinne, deren Inhalt und Grenzen die Werke Groths prägnant zu erkennen geben, eine bald selbständig gewordene Gesteinskunde ab. Von M. Lévy, Zirkel und Rosenbusch ausgehend, werden diejenigen, die nach uns kommen, noch ein reiches Maß von Aufgaben zu erledigen haben: stellt doch fast jede neue wissenschaftliche Reise, jede Gebirgserschließung und Bergwerksunternehmung den Mineralogen und Lithologen vor neue Funde, deren Einordnung in das System von ihm verlangt wird.

Die Geographie hat als strengwissenschaftliche Oberflächenkunde ihre Anerkennung als ein unentbehrliches Verbindungsglied zwischen Geistes- und Naturwissenschaften durchgesetzt, und zwar ist es die anorganische Seite dieser letzteren, mit welcher die Erdkunde die innigsten Beziehungen unterhält. Von ihr die Geologie durch einen scharfen Schnitt loszutrennen, ist unmöglich, denn in der terrestrischen Morphologie liegt ein beiden gemeinsames, unendlich ausgedehntes Grenzgebiet vor, welches auch nicht gehörig angebaut werden kann, ohne daß die Lösung des Rätsels oder der Rätsel, welche das Erdinnere umschließt, in Angriff genommen würde. Der Bruch mit den alten Katastrophenlehren eines Cuvier und v. Buch hat die wohlthätige Folge gehabt, daß die Erdbildungslehre sich denselben Normen anbequemen mußte, welche für alle physikalischen Wissenschaften gelten. Sie geht jetzt, wenn wir van t'Hoffs Worte wiederholen dürfen, davon aus, „daß keine katastrophalen Eingriffe, wie diese speziell auf geologischem Gebiete früher angenommen wurden, in die Entstehung der Erde eingegriffen haben, sondern daß die Erde sich entwickelt hat unter denselben Gesetzen, welchen sie jetzt gehorcht, und nach welchen ihre Geschichte auch einmal zum Abschlusse kommen wird.“ Durch v. Hoff, Lyell, G. Bischof in früherer, durch Sueß, Penck, A. und J. Geikie, de Lapparent, v. Richthofen u. a. in neuerer Zeit ist dieses Prinzip der langsamen Entwicklung, mit welchem sich gelegentliche abrupte Kraftäußerungen der in der Erdrinde wirkenden Agentien sehr wohl vereinigen lassen, zur Herrschaft gelangt, und mit ihm die Anerkennung des Grundsatzes, daß — ebensowenig wie irgend ein Stoffteilchen — ein Bruchteil der bei der Umbildung des Erdreliefs thätigen Kräfte verloren gehen kann. Diese erklärende Geologie konnte nur entstehen und gedeihen auf Grund einer exakten Schichtenlehre, zu deren Zustandekommen zweierlei Voraussetzungen unerläßlich waren: Gründliche geognostische, im Bunde mit der geographischen Exploration vollzogene Durchforschung der bekannten Planetenoberfläche und systematische Ergründung des Zusammenhanges, in welchem die Schichtfolgen zu den eingeschlossenen fossilen Resten stehen. Die junge Wissen-

schaft der Paläontologie, die als solche noch kaum auf ein Jahrhundert selbständiger Existenz zurückblicken kann, hat in dieser Zeitspanne nicht nur ihren nächsten Zweck, die hilfreiche Dienerin der allgemeinen Geologie zu sein, glänzend erreicht, sondern ist, als autonome Naturgeschichte der versteinten Lebewesen, unter der Führung eines Owen, Marsh, Schenk und vor allem v. Zittel in die engste Fühlung zur Organologie getreten und stellt innerhalb der doch teilweise noch bunt durcheinanderwogenden Spekulationen über Entwicklung und Deszendenz den eisernen Bestand gesicherter Thatsachen dar, mit welchem sich erstere unter allen Umständen abzufinden genötigt sind.

Die mathematische und physikalische Erdkunde, welche seit zwei Jahrzehnten in einer noch universellere Ziele anstrebenden Geophysik ihre Weiterführung und Vollendung zu finden begann, lassen nicht minder deutlich erkennen, welch gewaltige Ergebnisse die Arbeit eines Jahrhunderts zu liefern imstande ist. Um 1800 war die astronomische Fixierung erst für recht wenige Orte der Erde exakt durchgeführt; heute kennt man von jedem irgendwie bekannten Platze sehr genau die geographischen Koordinaten der Breite, Länge und Meereshöhe. Damals war man froh zu wissen, daß die Erde als ein abgeplattetes Umdrehungsellipsoid betrachtet werden kann, aber die Folgezeit ist über diese Erkenntnis weit hinausgegangen, und während die theoretisch wie praktisch gleichwichtigen Untersuchungen eines Gauß, Bessel, Ph. Fischer, Airy, Stokes die Zusammenfassung geodätischer und experimenteller Verfahrungsweisen für eine möglichst genaue Bestimmung der wahren Erdgestalt ermöglichten, deuteten Bruns' und Helmerts Arbeiten über das Geoid an, daß dem Hauptprobleme selbst eine ganz andere, ungleich weiter gesteckte Fassung erteilt werden müsse. Das Riesenwerk der internationalen Erdmessung, von der Umsicht und Thatkraft J. J. Baeyers zustande gebracht, wird, wie wir hoffen, im beginnenden Jahrhundert zu Ende geführt werden und für beliebig gewählte Punkte die Raumbeziehung des Geoides zum Referenzellipsoide zu überblicken erlauben. Für die durch Gauß in ein neues Fahrwasser geleitete, durch Neumayer mit dem erforderlichen Rüstzeuge versehene und durch Ad. Schmidt mathe-

matisch erheblich geförderte Lehre vom Erdmagnetismus dürfte mit der Entschleierung der Südpolarzone eine neue Epoche anheben; das Mysterium des Polarlichtes rückte seiner Aufhellung bereits wesentlich näher infolge der neuesten Untersuchungen über Kathodenstrahlen und Ionenverbreitung. Was Dove für die Meteorologie vorbereitet, ist zum großen Teile seiner Vollendung näher geführt worden, und das 20. Jahrhundert braucht nur auf den von seinem Vorläufer aufgezeigten Pfaden rüstig weiterzuschreiten, um sich in den Besitz einer voll befriedigenden Witterungsprognose gesetzt zu sehen. Die Anfänge einer rationellen Klimatologie gehen auf etwas mehr denn hundert Jahre — Societas Palatina — zurück, aber die Humboldt-Buchsche Periode griff bereits kräftig fördernd ein, und die neue Jahrhundertwende kann jenem ersten, unsicheren Tasten das in den Hauptpunkten nicht mehr zu erschütternde Lehrsystem gegenüberstellen, welches Hann und Woeikow begründet haben. Vielleicht noch drastischer jedoch offenbart sich uns der Gegensatz zwischen einst und jetzt in einem Vergleiche der damaligen und der jetzigen Hydrologie, vorab der Meereskunde; J. F. W. Ottos „Hydrographie" vom Jahre 1800 halte man neben die neueren Gesamtdarstellungen unseres einschlägigen Wissens, wie wir sie etwa von Krümmel und Thoulet erhalten haben, und man wird sich überzeugen, wie unsäglich tiefer und gefestigter unsere Einsicht sowohl durch theoretische Arbeit, als auch namentlich durch die Erdumspannenden ozeanographischen Forschungsreisen der meisten maritimen Kulturvölker geworden ist.

Unserem Rückblicke haben wir stets auch einen Vorblick in das neu heraufziehende Jahrhundert beigesellt; es war unser Bestreben, festzustellen, welches Vermächtnis die uns beschäftigenden Zweige der Naturwissenschaft den nächsten Jahrzehnten übermitteln. Die Erbschaft ist eine so bedeutende, daß der Erbe sie nur freudig aufnehmen kann, obwohl ihm keine leichte Verpflichtung auferlegt ist, wenn er sich anheischig macht, sich derselben in jeder Weise würdig erweisen und das reiche Gut dereinst in entsprechend vermehrtem und vervollkommnetem Stande an das 21. Jahrhundert weitergeben zu wollen. Allein auch die Hilfs-

mittel sind andere als diejenigen geworden, mit welchen sich unsere Väter und Großväter zu behelfen gezwungen waren. Welchen Vorschub gewährt nicht allein der Besitz eines allumfassenden, alle Seiten der Wissenschaft von der Natur gleichmäßig befruchtenden Gesetzes, wie es dasjenige von der Erhaltung der Arbeit ist! Mit Rücksicht auf dasselbe darf man, ohne sich der Gefahr, Lügen gestraft zu werden, auszusetzen, das neue Säkulum als das energetische bezeichnen; die große Entdeckung des Dreigestirnes R. Mayer-Helmholtz-Joule wird eine beherrschende Rolle spielen, und die Naturforschung bleibt sich ohne Zweifel immer dessen bewußt, daß sie unter diesem Zeichen siegen soll.

Allerdings müssen wir dabei Verwahrung gegen jene scharf akzentuierte Formulierung einlegen, welche dem Worte energetisch von einigen Naturforschern, als deren Wortführer Ostwald zu betrachten ist, erteilt worden ist. Danach stünde dasselbe im schärfsten Gegensatze zu mechanistisch, und der genannte, thatkräftige Vertreter der physikalischen Chemie hält sogar, wie er im Jahre 1895 der Lübecker Naturforscherversammlung auseinandersetzte, durch eine recht entschiedene Betonung und energische Durchführung des Energieprinzipes eine Überwindung des „wissenschaftlichen" Materialismus für möglich. Es wird jedoch in weiten Kreisen diese Bezeichnung als eine nicht zutreffende empfunden werden, denn unter materialistischer Weltanschauung versteht man zumal in Deutschland die von J. Moleschott (1822—1893) und L. Büchner (1824—1899) eingebürgerte, naive Identifizierung aller körperlichen und geistigen Vorgänge, die heutzutage, dank besonders den Errungenschaften einer exakten Psychophysik, unter den Männern der Wissenschaft nur noch sehr wenige Anhänger zählen dürfte. Was aber Ostwald so nennt, ist doch etwas im innersten Kerne Verschiedenes, denn es handelt sich nur darum, alle Bewegungsvorgänge auf die genau beschriebenen Bewegungen gewisser gleichartiger Körperelemente zurückzuführen, und vor dem Versuche, auch den Unterschied zwischen Bewußtseins- und Bewegungserscheinungen aufzuheben, macht anscheinend, von einigen extremen Monisten abgesehen, die ganze moderne Wissenschaft Halt. Wie die Philosophie zu Werke zu

gehen hat, wenn sie der Naturwissenschaft wirkliche Unterstützung bringen will, darüber belehrt uns namentlich John Stuart Mills „Induktive Logik“ (London 1843; ins Deutsche von Gompertz, Leipzig 1884—1886, übertragen). Wir müssen darauf Verzicht leisten, so großartige Konstruktionen auszuführen, wie sie uns unter den ernst zu nehmenden Werken vielleicht am umfassendsten in B. Ch. Wieners (1826—1896) atomistischer Kosmologie („Grundzüge der Weltordnung“, 2. Aufl., Leipzig 1869) entgegentreten. Aber solange wir uns auf das Gebiet des Anorganischen beschränken, hat eine rationelle Atomistik ihre volle Daseinsberechtigung, und die Polemik gegen die Laplacesche Weltformel, mit welcher sich übrigens auch H. v. Helmholtz in seinen gemeinverständlichen Vorträgen beschäftigte, können wir uns nicht aneignen. Der große französische Mathematiker, den wir in den voraufgehenden Kapiteln so häufig zu nennen hatten, warf einmal den kecken Gedanken hin, wenn die exakte Naturforschung am Ende ihrer Leistungen angelangt sei, so müsse sie eine analytische Formel aufzustellen in der Lage sein, durch welche sämtliche Ereignisse der unbelebten Natur, von einer Weltkatastrophe in der Entfernung der entlegensten Nebelflecke herab bis zu dem durch irgend einen Denudationsprozeß bewirkten Abspringen eines Steinchens von einer Felsmasse, im voraus dargestellt wären. Jedermann nimmt die beabsichtigte Utopie wahr, welche in einer solchen Forderung steckt, aber jedermann sollte doch auch zugeben, daß in den vierhundert Jahren, die seit der Wiedererneuerung der exakten Disziplinen durch Peurbach, Regiomontanus und Coppernicus dahingeflossen sind, eine nur gelegentlich unterbrochene, sonst aber nahezu stetige Annäherung an jenen Idealzustand zu konstatieren ist. Die Entwicklung der Naturwissenschaften bewirkt eine asymptotische Annäherung an das Laplacesche Ideal, welches nur dann zur Chimäre würde, wenn man verlangte, daß dasselbe in absehbarer — wenn auch noch so langer — Zeit thatsächlich erreicht werden sollte.

Mit der angegebenen Einschränkung nun, daß wir den bewußten Gegensatz mechanistischer und energetischer Naturerklärung nicht anerkennen, halten wir daran fest, daß dem beginnenden Jahr=

hundert ein markanter energetischer Zug aufgeprägt sein werde. Jene Lübecker Rede Ostwalds stand mit der Thatsache in Verbindung, daß im Jahre 1894 eine aus L. Boltzmann, G. Quincke, V. v. Lang, E. Wiedemann und G. Helm (geb. 1851) bestehende Kommission niedergesetzt worden war, die einen Bericht über Energetik zu erstatten hatte, und eben auch in Lübeck trat Helm als Verfechter der auch von Ostwald angenommenen Ansicht auf, wogegen Boltzmann in längerer, wohl von der Mehrzahl der Theilnehmer gebilligter Darlegung ausführte, die alte theoretische Physik könne noch lange nicht als ein überwundener Standpunkt gelten. Auch auf den nächstfolgenden Naturforscherversammlungen kam man gelegentlich auf diese die Geister so lebhaft bewegende Frage zurück, und wiederum war es Boltzmann, der 1899 in München für die von allen großen Repräsentanten der exakten Wissenschaften seit Newton ihren Untersuchungen zu Grunde gelegte Auffassung eine Lanze brach. Der Energiesatz wird das Leitmotiv aller einer exakten Einkleidung fähigen Problemstellungen und Problemlösungen sein, aber die bisher erprobte Methodik der Kunst, Fragen an die Natur zu richten, braucht keiner grundsätzlichen Änderung unterzogen zu werden.

Indem wir oben der Überzeugung Raum gaben, daß jeder Erkenntnisfortschritt nur asymptotisch vor sich gehen könne, und daß die Zeit, welche zur Erreichung der letzten Ziele erfordert wird, von unendlich langer Dauer sein müsse, haben wir zugleich, wie sich dies für einen Ausblick in eine unbekannte Zukunft geziemt, Stellung genommen zu der dereinst von E. du Bois Reymond angeregten und von lebhaftester Diskussion seitdem getragenen Streitfrage, ob es dem Menschen überhaupt vergönnt sei, bis zu den letzten und verborgensten Quellen des Erkennens vorzudringen. Daß das Wort „ignoramus“ — „wir wissen nicht“ — für die Gegenwart noch recht häufig am Platze sei, wird zwar allseitig zugestanden, aber eine ziemlich hitzige Gegnerschaft erhob sich gegen des genialen Physiologen „ignorabimus“ — „wir werden gewisse Dinge niemals wissen“. Es erscheint aber doch im Grunde fast müßig, sich über die Zeiten, welche wissenschaftlicher Chiliasmus

einmal anbrechen zu sehen hofft, den Kopf zu zerbrechen. Die Eigenart des menschlichen Denk- und Apperzeptionsvermögens ist nun einmal, was vor allem der kritizistisch gebildete Naturforscher niemals vergessen sollte, an gewisse Schranken gebunden, und zudem kann niemand, der ernstliche geschichtliche Studien getrieben hat, darüber im unklaren sein, daß uns jeder nachhaltige Fortschritt im reinen Erkennen, wie in der Bezwingung der Naturkräfte nur immer vor neue Rätsel stellt. Wohl uns, daß es sich so verhält, wenn anders einer der schärfsten Denker, deren sich Deutschland je zu rühmen hatte, wenn Lessing im Rechte ist mit seinem Ausspruche, daß das Ringen nach der Wahrheit stets dem Besitze der Wahrheit vorzuziehen sei! Und so geben wir zum Schlusse der Hoffnung Raum, daß Derjenige, der nach Ablauf des 20. Jahrhunderts die Bilanz der Säkulararbeit zu ziehen beauftragt ist, zu einem gleich befriedigenden oder wo möglich noch befriedigenderen Resultate seiner Thätigkeit geführt werden möge; gleichzeitig aber auch der sehr begründeten Vermutung, daß derselbe bei richtiger Abschätzung Dessen, was gesichert hinter ihm und unerforscht noch vor ihm liegt, mit dem sterbenden Laplace ausrufen wird: „Ce que nous connaissons c'est peu de chose; mais ce que nous ignorons c'est immense!“

Litteratur.*)

W. Whewell, History of the Inductive Sciences, 3 Bände, London 1847 (3. Ausgabe); übersetzt von J. J. v. Littrow, Stuttgart 1840 bis 1841.

F. Dannemann, Grundriß einer Geschichte der Naturwissenschaften, zugleich eine Einführung in das Studium der naturwissenschaftlichen Litteratur, 2 Bände, Leipzig 1896.

F. A. Lange, Geschichte des Materialismus und Kritik seiner Bedeutung für die Gegenwart, Iserlohn 1866.

O. Zoeckler, Geschichte der Beziehungen zwischen Theologie und Naturwissenschaft, 2. Abteilung, Gütersloh 1879.

J. C. Poggendorff, Geschichte der Physik, Leipzig 1879.

A. Heller, Geschichte der Physik von Aristoteles bis auf die neueste Zeit, 2 Bände, Stuttgart 1882—1884.

F. Rosenberger, Geschichte der Physik in Grundzügen, 3 Bände, Braunschweig 1882—1890.

E. Gerland, Geschichte der Physik, Leipzig 1892.

K. E. Dühring, Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik, Berlin 1873.

E. Mach, Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit, Prag 1872.

E. Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt, Leipzig 1883.

E. Mach, Die Prinzipien der Wärmelehre, historisch-kritisch entwickelt, Leipzig 1896.

E. Hoppe, Geschichte der Elektrizität, Leipzig 1884.

G. Albrecht, Geschichte der Elektrizität mit Berücksichtigung ihrer Anwendungen, Wien-Pest-Leipzig 1885.

*) Die zahllosen Biographien und Nekrologe, die hervorragenden Naturforschern in selbständigen Werken und Akademieschriften gewidmet wurden, sind im Texte vielfach berücksichtigt, konnten hier aber ebenso wenig aufgezählt werden, wie die sich stetig mehrenden Briefsammlungen. Auf Ostwalds „Klassiker", ein ganz unentbehrliches Quellenwerk, ist an vielen Textesstellen hingewiesen worden.

E. Netoliczka, Illustrierte Geschichte der Elektrizität von den ältesten Zeiten bis auf unsere Tage, Wien 1886.

F. Rosenberger, Die moderne Entwicklung der elektrischen Prinzipien, Leipzig 1898.

L. Lange, Die geschichtliche Entwicklung des Bewegungsbegriffes und ihr voraussichtliches Endergebnis, Leipzig 1886.

H. Kopp, Geschichte der Chemie, 4 Teile, Braunschweig 1843—1845.

H. Kopp, Beiträge zur Geschichte der Chemie, Braunschweig 1869.

H. Kopp, Die Entwicklung der Chemie in der neueren Zeit, München 1871.

C. W. Blomstrand, Die Chemie der Jetztzeit, vom Standpunkte der elektrischen Auffassung aus Berzelius' Lehre entwickelt, Heidelberg 1869.

A. Ladenburg, Vorträge über die Entwicklungsgeschichte der Chemie in den letzten hundert Jahren, Braunschweig 1887 (2. Ausgabe).

E. v. Meyer, Geschichte der Chemie von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart, Leipzig 1895.

A. v. Baeyer, Die chemische Synthese, München 1878.

H. Kolbe, Meine Beteiligung an der Entwicklung der theoretischen Chemie, Leipzig 1881.

G. W. A. Kahlbaum, Monographien zur Geschichte der Chemie, Leipzig, von 1897 an (bis jetzt fünf Hefte).

W. Ostwald, Lehrbuch der allgemeinen Chemie, 2 Bände, Leipzig 1885 bis 1886.

W. Ostwald, Elektrochemie, Leipzig 1896.

G. A. Jahn, Geschichte der Astronomie vom Anfang des 19. Jahrhunderts bis zum Ende des Jahres 1842, Leipzig 1844.

J. H. Maedler, Geschichte der Himmelskunde von der ältesten bis auf die neueste Zeit, 2 Bände, Braunschweig 1872—1873.

R. Wolf, Geschichte der Astronomie, München 1877.

A. M. Clerke, Geschichte der Astronomie während des 19. Jahrhunderts, deutsch von H. Maser, Berlin 1889.

R. Wolf, Handbuch der Astronomie, ihrer Geschichte und Litteratur, 2 Bände, Zürich 1890—1893.

J. C. Houzeau-A. B. M. Lancaster, Bibliographie générale de l'astronomie, Brüssel 1882.

K. M. Marx, Geschichte der Krystallkunde, Karlsruhe 1825.

F. v. Kobell, Geschichte der Mineralogie von 1650 bis 1860, München 1864.

F. A. Quenstedt, Grundriß der bestimmenden und rechnenden Krystallographie nebst einer historischen Einleitung, Tübingen 1873.

A. Graf d'Archiac, Histoire des progrès de la géologie de 1834—1850, 7 Bände, Paris 1847 bis 1856.

K. A. v. Zittel, Geschichte der Geologie und Paläontologie bis Ende des 19. Jahrhunderts, München 1899.

J. Geikie, The Founders of Geology, London 1897.

S. Günther, Alexander v. Humboldt, Leopold v. Buch, Berlin 1900.

O. Peschel, Geschichte der Erdkunde bis auf A. v. Humboldt und K. Ritter, München 1877 (2. Auflage, besorgt von S. Ruge).

E. Wisotzki, Zeitströmungen in der Geographie, Leipzig 1897.

J. Forbes, Abriß einer Geschichte der neueren Fortschritte und des gegenwärtigen Zustandes in der Meteorologie, deutsch von W. Mahlmann, Berlin 1836.

G. Hellmann, Repertorium der deutschen Meteorologie, Leipzig 1883.

J. C. Poggendorff, Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wissenschaften, 2 Bände, Leipzig 1863; 3. und 4. Band, herausgegeben von B. W. Feddersen und A. J. v. Oettingen, 2 Bände, ebenda 1898.

Register.

Die fettgedruckten Zahlen geben die Stelle an, welche nähere biographische Daten beibringt.

A.

H.

J.

O.

P.

Q.

T.

U.

V.

W.

Y.

Z.

Berichtigungen.

S. 16, Z. 17 v. u. lies K. statt X. — S. 39, Z. 5 v. u. l. 1896 statt 1818. — S. 55, Z. 7 v. o. vertausche die Worte „Gleichungen" und „unbekannte Größen". — S. 65, Z. 19 v. u. l. belebten st. unbelebten. — S. 100, Z. 13 v. u. lies 1892 st. 1893. — S. 153, Z. 14 v. u. l. 18. statt 17. — S. 156, Z. 8 v. u. l. ihm st. ihn. — S. 214, Z. 5 v. u. erg. nach „Chemie" noch: „des Kohlenstoffs und im besonderen". — S. 305, Z. 2 v. u. l. Herde st. Heder. — S. 324, Z. 14 v. u. erg. nach „kürzesten" noch „reziproken". — S. 377, Z. 1 v. u. l. Baryum st. Barium. — S. 414, Z. 5 v. u. erg. nach „thätig" noch: „herausgiebt". — S. 483, Z. 9 v. u. l. Öl st. Ol. — S. 498, Z. 17 v. o. l. 1893 st. 1894. — S. 503, Z. 2 v. u. l. W. Heß st. E. Heß. — S. 523, Z. 1 v. u. l. A. Berson st. O. Berson. — S. 528, Z. 18 v. u. l. 1897 st. 1896. — S. 529, Z. 14 v. u. l. Cranz st. Crantz. — S. 544, Z. 12 v. u. l. Strömungen st. Störungen; Z. 14 v. u. erg. nach „Endkörper" noch: „entstehenden Strömungen". — S. 563, Z. 1 v. o. l. Raoul st. Raul. — S. 694, Z. 7 u. 9 v. u. gehört das Anführungszeichen hinter „entstehen", nicht hinter „Wissenschaft". — S. 762, Z. 18 v. o. l. 1831 st. 1836. — S. 772, Z. 10 v. u. l. A. Arzruni st. O. Arzruni. — S. 784, Z. 7 v. u. l. F. W. Bliß st. N. Bliß. — S. 816, Z. 15 v. u. l. elf st. zehn. — S. 891, Z. 18 v. u. l. F. v. Schwarz st. A. v. Schwarz.

„Das Neunzehnte Jahrhundert in Deutschlands Entwicklung“ vereinigt eine Anzahl hervorragender Männer der Wissenschaft, die aus Anlaß des Jahrhundertwechsels die letzten hundert Jahre deutscher Entwicklung auf den wichtigsten Kulturgebieten historisch-kritisch behandeln. Herausgeber ist Dr. **Paul Schlenther,** K. K. Direktor des Wiener Hofburgtheaters. Aus dieser Sammlung sind bis März 1901 folgende Einzelwerke im Verlage von **Georg Bondi** in Berlin erschienen:

Dr. **Theobald Ziegler,** ord. Professor a. d. Univ. Straßburg: Die geistigen und socialen Strömungen des 19. Jahrhunderts.

Dr. **Cornelius Gurlitt,** ord. Professor a. d. Kgl. techn. Hochschule zu Dresden: Die deutsche Kunst des 19. Jahrhunderts.

Dr. **Richard M. Meyer,** Professor in Berlin: Die deutsche Litteratur des 19. Jahrhunderts.

Dr. **Georg Kaufmann,** ord. Professor an der Universität Breslau: Politische Geschichte Deutschlands im 19. Jahrhundert.

Dr. **Siegmund Günther,** ord. Professor a. d. technischen Hochschule München: Geschichte der anorganischen Naturwissenschaften im 19. Jahrhundert.

Die folgenden Bände der Sammlung sind **in Vorbereitung:**

Dr. **Franz Carl Müller** in München: Geschichte der organischen Naturwissenschaften im 19. Jahrhundert.

Dr. h. c. **Franz Reuleaux,** geh. Regierungsrat und ord. Professor an der technischen Hochschule Charlottenburg: Geschichte der Technik im 19. Jahrhundert.

Dr. **Heinrich Welti** in Berlin: Das musikalische Drama und die Musik des 19. Jahrhunderts in Deutschland.

Dr. **Paul Schlenther,** Direktor des K. K. Hofburgtheaters zu Wien: Geschichte des deutschen Theaters im 19. Jahrhundert.

Fritz Hoenig, Hauptmann a. D. in Berlin: Deutsche Kriegsgeschichte des 19. Jahrhunderts.

Dr. **Werner Sombart,** Professor an der Universität Breslau: Die deutsche Volkswirtschaft des 19. Jahrhunderts.

Etwa 40—50 Druckbogen stark, mit künstlerisch wertvollen Abbildungen versehen, in der vornehmen äußeren Ausstattung den anderen Bänden gleich, bildet jedes einzelne Werk ein abgeschlossenes Ganze und erscheint unabhängig von den anderen im Buchhandel, zum Ladenpreis von M. 10.— das broschierte, von M. 12.50 das gebundene Exemplar. Jedes Werk führt in großen Zügen die Entwicklung seines besonderen Kulturgebietes vor, und zwar mit Berücksichtigung des Auslandes, soweit dies auf deutsche Kultur gewirkt hat oder von deutscher Kultur beeinflußt ist. Zumeist wird das Ausland bei den Naturwissenschaften und der Technik in Betracht kommen, weil hier die nationalen Schranken so gut wie gefallen sind. Jedes Werk will durch zusammenfassende Darstellung des geschichtlichen Verlaufs die wissenschaftliche Erkenntnis fördern, ist aber mit schriftstellerischer Kunst nach Form wie Inhalt so behandelt, daß es einen weiteren gebildeten Leserkreis zu fesseln vermag.

Da die in den einzelnen Bänden behandelten Gebiete des Kulturlebens oft genug einander nicht nur berühren, sondern sich stellenweise fast auch decken, so kann es nicht fehlen, daß der Leser des Gesamtwerkes mitunter über ein und denselben Gegenstand verschiedene Auffassungen und Darstellungen kennen lernt, je nach den verschiedenen schriftstellerischen und wissenschaftlichen Individualitäten der Verfasser. Wir glauben darin keinen Mangel, sondern einen besonderen Reiz des Gesamtwerkes zu erkennen. Im Streben nach möglichster Objektivität einig, werden die Autoren kraft der bei ihnen anerkannten Sachkenntnis und Urteilsfähigkeit ihre eigene Meinung unabhängig von einander und unabhängig von den persönlichen Anschauungen des Herausgebers zu vertreten und zu behaupten haben.

Druck von Hesse & Becker in Leipzig.